

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Інженерно-хімічний факультет**

(повна назва інституту/факультету)

**Кафедра автоматизації хімічних виробництв**

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

удк 66.011:661.566.081.2

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ А.І.Жученко

(підпис) (ініціали, прізвище)

“18” травня 2018 р.

**Магістерська дисертація**

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 151 – Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології

(код і назва)

на тему: Ситуаційний аналіз в системі автоматизації виробництва розведеної азотної кислоти

Виконала: студентка 6 курсу, групи ЛА-61м

(шифр групи)

\_\_\_\_\_ Попович Наталія Вікторівна \_\_\_\_\_

(прізвище, ім’я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник \_\_\_\_\_ доцент, к.т.н., Ярошук Л. Д. \_\_\_\_\_

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_ професор, д.т.н., Панов Є. М. \_\_\_\_\_

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає  
запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

Київ – 2018 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

**Інженерно-хімічний факультет**

(повна назва)

**Кафедра автоматизації хімічних виробництв**

(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 151- Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ А.І.Жученко

(підпис)

(ініціали, прізвище)

« 26 » березня 2018 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**

Попович Наталії Вікторівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Ситуаційний аналіз в системі автоматизації розведеної азотної кислоти

науковий керівник дисертації Ярощук Людмила Дем'янівна, доцент, к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « 21 » березня 2018 р. № 979-с

2. Термін подання студентом дисертації « 18 » травня 2018 р.

3. Об'єкт дослідження Технологічні процеси виробництва розведеної азотної кислоти

4. Предмет дослідження Методи та моделі ситуаційного аналізу в системі автоматизації розведеної азотної кислоти \_\_\_\_\_.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити Провести аналіз ситуацій на виробництві розведеної азотної кислоти; визначити несприятливі режими роботи технологічних систем; створити бази знань для експертної системи діагностувального типу; розробити алгоритми виявлення нестационарного, передаварійного та аварійного режимів роботи використовуючи методи ситуаційного аналізу; створити програму реалізації алгоритмів ситуаційного аналізу для робочого місця оператора-технолога; розробити стартап-проект \_\_\_\_\_

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу: технологічна схема виробництва розведеної азотної кислоти; графі аварійних ситуацій; схеми алгоритмів визначення режимів функціонування технологічної системи; візуалізація програми для робочого місця оператора-технолога \_\_\_\_\_

7. Орієнтовний перелік публікацій Опублікування результатів досліджень по визначенню несприятливих режимів роботи, по формуванню бази знань та програмного забезпечення робочого місця оператора-технолога \_\_\_\_\_

8. Консультанти розділів дисертації:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання « 29 » березня 2018 р.

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз існуючих систем ситуаційного керування	24 березня 2018 року	
2	Аналіз режимів функціонування процесів виробництва розведеної азотної кислоти	30 березня 2018 року	
3	Створення та використання баз знань для аварійних ситуацій хіміко-технологічної системи виробництва розведеної азотної	21 квітня 2018 року	

---

\* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

	кислоти		
4	Оформлення стартап-проекту	23 квітня 2018 року	
5	Створення алгоритмів керування процесами виробництва розведеної азотної кислоти	27 квітня 2018 року	
6	Принципи побудови програмного засобу для аналізу ситуацій	5 травня 2018 року	
7	Оформлення магістерської дисертації	11 травня 2018 року	

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Попович Н. В.

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_

(підпис)

Ярощук Л. Д.

(ініціали, прізвище)

## **РЕФЕРАТ**

Магістерська дисертація виконана на тему «Ситуаційний аналіз в системі автоматизації виробництва розведеної азотної кислоти», містить 101 сторінки пояснювальної записки, 38 ілюстрацій, 23 таблиці, 4 додатки та 22 бібліографічних найменування.

Метою проекту є використання методів та створення моделі ситуаційного аналізу в системі автоматизації виробництва розведеної азотної кислоти.

Об'єкт дослідження – технологічні процеси виробництва розведеної азотної кислоти.

Предмет дослідження – методи та моделі ситуаційного аналізу в системі автоматизації виробництва розведеної азотної кислоти.

Проведено аналіз хіміко-технологічної системи виробництва розведеної азотної кислоти та ситуацій її розвитку, визначено несприятливі режими роботи технологічних систем, створено бази знань для експертної системи діагностувального типу, розроблено алгоритми виявлення нестационарного, передаварійного та аварійного режимів роботи використовуючи методи ситуаційного аналізу.

Створено програму реалізації алгоритмів ситуаційного аналізу для робочого місця оператора-технолога та розроблено стартап-проект для поширення та впровадження цієї програми.

Ключові слова: РОЗВЕДЕНА АЗОТНА КИСЛОТА, АБСОРБЦІЯ НІТРОЗНИХ ГАЗІВ, СИТУАЦІЙНИЙ АНАЛІЗ, НЕСТАЦІОНАРНІСТЬ, АВАРІЙНИЙ РЕЖИМ, БАЗА ЗНАНЬ, НЕЧІТКА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА

## **ABSTRACT**

The master's dissertation was performed on the topic "Situational analysis in the automation system of dilute nitric acid production". It contains 101 pages of explanatory notes, 38 illustrations, 23 tables, 4 appendixes and 22 bibliographic titles.

The purpose of the project is to use methods and create a model for situational analysis in the automation system for the production of dilute nitric acid.

The object of research - technological processes of production of dilute nitric acid.

Subject of research - methods and models of situational analysis in the automation system of dilute nitric acid production.

The analysis of the chemical and technological system of the production of dilute nitric acid and its developmental situations, the unfavorable modes of operation of technological systems have been determined, knowledge bases have been created for an expert system of diagnostic type, algorithms for detecting non-stationary, transmissive and emergency modes of work using methods of situational analysis have been developed.

A program for realization of situational analysis algorithms for the workplace of the operator-technologist was created and a startup project based on the created program was developed.

**Key words:** DILUTE NITRIC ACID, CHEMICAL AND TECHNOLOGICAL SYSTEM, METHODS OF SITUATION ANALYSIS, INFRASTRUCTURE CONTROL SYSTEM, AUTOMATION, ABSORBATION OF NITROZY GAS AMMATION WATER, MICROSOFT EXCEL, EXPERT SYSTEM.

<b>ЗМІСТ</b>	<b>стор.</b>
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1. ДОСЛІДЖЕННЯ ВИРОБНИЦТВА РОЗВЕДЕНОЇ АЗОТНОЇ КИСЛОТИ.....	11
1.1. Хімічні та фізичні особливості процесу виробництва розведеної азотної кислоти.....	11
1.2. Технологія виробництва розведеної азотної кислоти.....	18
1.3. Аналіз існуючих систем ситуаційного керування.....	23
1.3.1. Метамоделі інформаційної системи для ситуаційного аналізу.....	26
1.3.2. Алгоритм прийняття рішень на стратегічному рівні управління складними організаційними системами захисту.....	28
1.3.3. Система ситуаційного керування на основі технології Semantic Web.....	30
1.4. Основні задачі магістерської дисертації.....	33
2. МЕТОДИ СИТУАЦІЙНОГО АНАЛІЗУ У ВИРОБНИЦТВІ РОЗВЕДЕНОЇ АЗОТНОЇ КИСЛОТИ.....	34
2.1. Аналіз режимів функціонування процесів виробництва розведеної азотної кислоти .....	34
2.2. Створення та використання баз знань для аварійних ситуацій хіміко-технологічної системи виробництва розведеної азотної кислоти.....	37
2.3. Створення алгоритмів ситуаційного керування процесами виробництва розведеної азотної кислоти .....	46
2.3.1. Алгоритм визначення нестационарного режиму роботи технологічної системи.....	47
2.3.2. Алгоритм визначення передаварійного режиму роботи технологічної системи.....	52
2.3.3. Алгоритм визначення аварійного режиму роботи технологічної системи.....	53
2.4. Нечітка логіка як приклад ситуаційного аналізу.....	55
Висновки до розділу 2.....	62

3. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАДАЧ АНАЛІЗУ СИТУАЦІЙ НА ВИРОБНИЦТВІ РОЗВЕДЕНОЇ АЗОТНОЇ КИСЛОТИ.....	62
3.1. Принципи побудови програмного засобу для аналізу ситуацій .....	63
3.2. Результати роботи програми.....	67
Висновки до розділу 3.....	69
4. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ .....	70
4.1. Ідея та опис стартапу.....	70
4.2. Аудит динаміки та основних тенденцій ринку виробництва розведеної азотної кислоти.....	72
4.3. Аналіз маркетингового середовища.....	74
4.3.1. Аналіз внутрішнього середовища.....	74
4.3.2. Аналіз зовнішнього середовища.....	78
4.3.3. Аналіз факторів мікромаркетингового середовища.....	81
4.3.4. Формулювання управлінської проблеми.....	83
4.4. Конкурентний аналіз компанії.....	84
4.5. Ринкові стратегії стартап-проекту.....	86
4.6. Комерційна пропозиція.....	87
Висновки до розділу 4.....	89
ВИСНОВКИ.....	90
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	91
ДОДАТКИ.....	94
Додаток А.....	95
Додаток Б.....	96
Додаток В.....	97
Додаток Г.....	100



## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ**

ХТС – хіміко-технологічна система.

АПС – аміачно-повітряна суміш.

ТЗА – технічні засоби автоматизації.

ІРІС – інтелектуально розподілена інформаційна система.

ОПР – особа, що приймає рішення.

ІСМ – ієрархічна ситуаційна модель.

СУ – ситуаційне управління.

ПМ – природня мова.

МСУ – мова ситуаційного управління.

БЗ – база знань.

## ВСТУП

Однією з найбільш широким спектром використання серед мінеральних кислот є азотна кислота. За своєю популярністю та обсягами виробництва на світовому ринку вона займає друге місце після сірчаної кислоти. Азотна кислота утворює розчинні у воді солі, що мають назву «нітрати», наділена окислювальними властивостями по відношенню до органічних сполук, а в концентрованому вигляді використовується для корозієстійкої обробки чорних металів. Все це обумовило її широке використання у народному господарстві та різних видах техніки.

Сфери застосування азотної кислоти досить різноманітні. Основна її частина (75 – 80 %) задіяна на виробництво комплексних і азотних мінеральних добрив та нітратів, на отримання вибухових речовин та ракетного палива йде 10 – 15% кислоти, інша кількість використовується для виготовлення фарбників, органічного синтезу і в кольоровій металургії [1].

Станом на сьогоднішня хімічна промисловість випускає три види азотної кислоти, а саме розведена (вміст  $\text{HNO}_3$  50 – 60 %), концентрована (вміст  $\text{HNO}_3$  96 – 98 %) та реактивна, де вміст  $\text{HNO}_3$  становить 65 %. Реактивна азотна кислота використовується у фармацевтиці, для наукових досліджень, у ракетобудуванні та у якості окислювача для ракетного палива. Більша частина обсягів виготовленого продукту перепадає на розведену азотну кислоту.

Зростання обсягів виробництва та кількості нових виробників розведеної азотної кислоти відбувається за рахунок технічного прогресу та технологічного оновлення її виробництва. Підприємства що займаються виготовленням розведеної азотної кислоти користуються технологією окислення синтетичного аміаку на платино-іридієвому каталізаторі та отриманні розведеної азотної кислоти з аміачних вод коксових печей.

Жодне виробництво не застраховане від виникнення передаварійних та аварійних ситуацій. Для забезпечення уникнення неполадок у технологічних процесах зазвичай не достатньо лише розробити схему автоматизації виробництва. Заради попередження великих втрат на виробництві існує потреба у детальному

аналізі підприємства та розроблені плану дій при виникненні тієї чи іншої ситуації використовуючи методи ситуаційного аналізу.

Як окремий напрямок в області прийняття рішень та керування складними та великими об'єктами [2], ситуаційне керування існує тривалий час, проте все ще залишається сукупністю евристичних методик та методів, розроблених для вирішення задач часткового характеру прийняття рішень та керування складними та великими об'єктами.

Розробка різноманітних методів та систем керування на основі поняття «ситуаційний» здійснюється, в основному, евристично. Разом з тим, спостереження за ходом вирішення більшості проблем та задач свідчить про те, що їх рішення на основі поняття «ситуація» [2] це єдиний адекватний, ефективний та повноцінний шлях досягнення цілі.

При ситуаційному підході підприємство розглядається як мережа взаємопов'язаних процесів. Іншими словами, під ситуаційним підходом до управління роботою підприємства відноситься: орієнтація діяльності виробництва на нормальну роботу у технологічних процесах; орієнтація системи управління виробництва на керування та спостереження як окремим технологічним процесом так і усіма процесами в цілому; системи якості підприємства на забезпечення якості алгоритмів виконання дій при створенні аварійних ситуацій.

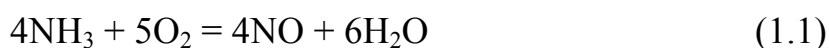
Кінцевий етап ситуаційного аналізу передбачає, що сценарна група яка включає в себе експертів з основної групи, готує заключний аналітичний документ з переліком сумнівних випадків та ситуацій. На основі цього документу створюються перелік правил для попередження та усунення наслідків сумнівних випадків.

Головною метою магістерської дисертації є розроблення алгоритмів керування, заснованих на методах ситуаційного аналізу, задля підвищення ефективності системи автоматичного керування та дотримання високих показників якості продукції.

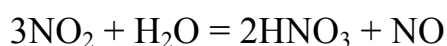
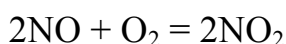
# 1. ДОСЛІДЖЕННЯ ВИРОБНИЦТВА РОЗВЕДЕНОЇ АЗОТНОЇ КИСЛОТИ

## 1.1. Хімічні та фізичні особливості процесу виробництва розведеної азотної кислоти

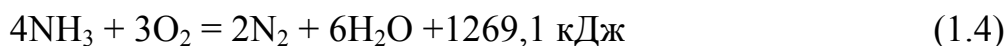
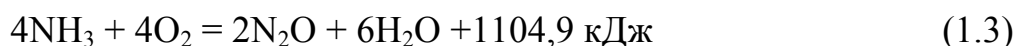
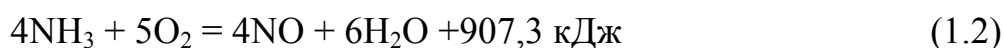
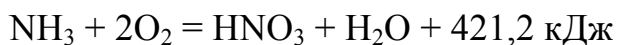
Сучасний етап розвитку азотнокислотної промисловості передбачає отримання розведеної азотної кислоти виключно окисленням синтетичного аміаку киснем із застосуванням різноманітних каталізаторів. Процес складається з двох основних стадій: отримання окису азоту і його переробка в розведену азотну кислоту. Стадія окислення аміаку в окис азоту виражається рівнянням [3]



Процес окислення окису азоту у інші оксиди азоту та їх переробка в азотну кислоту представлена рівняннями



Сумарний процес без врахування побічних реакцій, що проходять з утворенням елементарного азоту та інших з'єднань, можна показати рівнянням



Дослідження показують, що при окисленні аміаку на різних каталізаторах і залежно від умов ведення процесу можна отримати окис азоту, елементарний азот (1.4.) і закис азоту (1.2. – 1.3).

Окрім цього, можливі і інші побічні реакції, що протікають з утворенням азоту без участі каталізатора. До таких реакцій відносяться розкладання окису азоту і взаємодія аміаку з окисом азоту. Тому так важливо обрати ефективний каталізатор, який забезпечить максимальний ступінь окислення аміаку що вплине не тільки на якість кінцевого продукту, але й екологічність процесу в цілому [4]

Для проведення процесу окислення аміаку з метою отримання оксиду азоту потрібен не тільки активний, але і вельми селективний каталізатор. Він повинен

володіти вибірковою дією і впливати тільки на одну з реакцій не діючи на інші реакції. Для здійснення реакції необхідно, щоб реакційна система володіла підвищеним запасом енергії активації.

В якості каталізаторів використовують сплави платини з родієм, паладієм. Вони мають високу ( $> 1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) температуру плавлення, легко піддаються механічній обробці, куванню, а Pd і Pt - ще й зварюванню. З платиною метали Rh і Pd утворюють сплави у вигляді безперервного ряду твердих розчинів. Ці сплави володіють кращими механічними властивостями в порівнянні з чистою платиною [5].

У виробництві азотної кислоти платино-родієві каталізатори застосовуються у вигляді сіток. Ця форма зручна в експлуатації, характеризується мінімальним вкладенням платиноїдів, дозволяє застосовувати найбільш простий і зручний в експлуатації тип контактного апарату і забезпечує високу поверхню зіткнення газу з каталізатором в процесі реакції.

Практично всі реакції з синтетичним аміаком можуть вважатися незворотними [4].

Процес окислення аміаку з точки зору адсорбційно-хімічної теорії каталізу можна представити таким чином: кисень і аміак дифундують з газової суміші до поверхні каталізатора. Внаслідок високої температури контактування ковалентний зв'язок між атомами в молекулах цих газів ослаблений. Так як швидкість дифузії кисню вище швидкості дифузії аміаку, в першу чергу відбувається активована адсорбція кисню, що супроводжується утворенням зв'язку між електронами з атомами платини, що мають вільні валентності. В результаті виникає комплекс каталізатор — кисень [5].

Утворення молекулярного азоту відбувається при неповному покритті поверхні каталізатора киснем (недолік кисню в газі) і за рахунок протікання побічних реакцій в об'ємі за каталізатором.

Ряд досліджень показав, що процес каталітичного окислення аміаку має дифузний характер [3].

Для реакції каталітичного окислення аміаку характерні залежність швидкості від лінійної швидкості газу, незначний час контактування АПС з каталізатором, відносно низька енергія активації (до 2,5 кДж/моль), що властива дифузійним процесам.

Решту часу контактування може бути представлено як відношення вільного об'єму каталізатора і об'ємної швидкості газу в умовах конверсії.

Вивчення кінетики окислення аміаку до оксиду азоту сильно ускладнюється протіканням паралельних побічних реакцій, кінцевим продуктом більшості з яких є молекулярний азот [4].

Реакція розкладання оксиду азоту може протікати відразу після появи NO в газі, але швидкість цієї реакції набагато менше швидкостей реакцій у рівняннях (1.1), (1.3), (1.4).

Найбільш істотним параметром, що робить значний вплив на вихід оксиду азоту, є температура.

Поява оксиду азоту на платино-родієвих каталізаторах спостерігається при температурах близько 300 °С. При подальшому підвищенні температури, вихід оксиду азоту збільшується як за рахунок зменшення проходження аміаку, так і в результаті зниження його вмісту в продуктах реакції, тобто при прояві каталізатором більшої селективності до реакції (1.3). Максимальний вихід оксидів азоту спостерігається при 900 - 920 °С. На чистій платині він досягає 96 %, а на сплавах Pt-Rh та Pt-Pd – 99 %. При цих температурах другим продуктом окислення є молекулярний азот [1].

Значний вплив на вихід оксиду азоту надає концентрація кисню в АПС. За використання АПС з максимально можливою концентрацією аміаку, при якій досягаються високі виходи оксиду азоту, тобто частка повітря становить 11,0 – 11,5 %, причому це характерно для температур 870 - 900 °С. При більш низьких температурах (750 – 800 °С) вміст в АПС повинен бути знижений приблизно до 10 % об'ємних долей.

Як правило, вихід NO при проведенні процесу конверсії під тиском трохи нижче, ніж в порівняльних умовах при атмосферному тиску. Зниження ступеня

конверсії викликається не самим фактором підвищення тиску, а предкаталізом, більш різко вираженим впливом каталітичних отрут, збільшенням напруженості каталізатора і деякими іншими явищами.

При підвищенні тиску необхідний час контактування зростає тим більше, чим нижче температура. Оптимальний час контактування не змінюється при зміні концентрації аміаку і числа сіток [6].

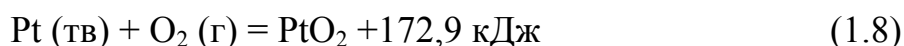
Підвищення тиску в процесі конверсії дозволяє збільшувати лінійну швидкість і напруженість каталізатора. Зміна цих параметрів вимагає збільшення числа каталізаторних сіток.

Безсумнівний вплив на вихід оксиду азоту має лінійна швидкість газу. В умовах процесу окислення аміаку її вплив не рівноцінний впливу часу контактування внаслідок одночасного протікання ряду інших паралельних і послідовних реакцій за участю аміаку, кисню і діоксиду азоту.

Природним способом неможливо зменшувати напруженість і лінійну швидкість газу до нескінченно малих значень, тому що при цьому збільшуються капітальні вкладення у вузол конверсії, зростає зворотня дифузія аміаку і виникає ймовірність загоряння АПС.

При окисленні аміаку, як і в усьому каталітичному процесі, платино-родієвий каталізатор піддається впливу реакційного середовища. Внаслідок високих температур, присутності хімічних реакцій окислення аміаку, впливу домішок, що надходять з газами та інших явищ відбувається зміна структури каталізаторних сіток, зокрема, розпушення їх поверхні та збільшення розмірів кристалів. Ці зміни залежать як від технологічних умов процесу, так і від фізико-хімічних властивостей сплаву сіток та призводять до втрати маси каталізатора [7].

Окислення платини відбувається по реакції:



Залежність константи рівноваги цієї реакції від температури має вигляд:

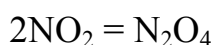
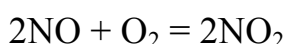
$$K_p = - 8925/T - 0,8861 + 0,5596 \lg T - 0,2557 \cdot 10^{-3} - 0,765 \cdot 10^{5T-2} \quad (1.9)$$

Втрати платино-родієвого каталізатора зростають при використанні на стадії конверсії збагаченого киснем повітря [5].

При окисленні аміаку на поверхні каталізатора з'являються межі зерен, всередині яких виділяються канали травлення. Надалі на поверхні нитки взагалі не залишається чистих зон; відбувається деформація кристалічної решітки сплаву платини з швидким збільшенням питомої поверхні. Таке перетворення поверхні каталізатора під впливом хімічної реакції названо каталітичної ерозією [1].

На каталізатор впливають також деякі солі, що потрапляють з повітрям. Найбільшого руйнування поверхні каталізатора викликають оксиди, гідрооксиди та карбонати натрію і калію, менше поверхню піддають корозії хлориди і сульфіді цих металів. Потрапляючи на каталізатор за високих температур, ці солі проникають в кристалічну решітку, утворюючи з його компонентами легкоплавкі з'єднання [6].

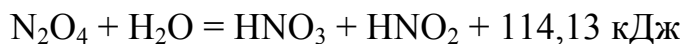
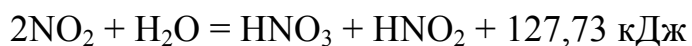
Нітрозні гази, отримані контактним окисленням аміаку, містять в основному окис азоту, з якого при подальшому окисленні виходять вищі оксиди азоту протікання яких можна описати наступними рівняннями:



При низьких температурах, наявності надлишку кисню і часу достатньому для встановлення рівноваги, можна чекати переходу всіх оксидів азоту в чотириокис  $\text{N}_2\text{O}_4$ . При недостатчі кисню або при несталій рівновазі в нітрозних газах можуть бути присутніми одночасно всі вказані оксиди ( $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}_3$ ,  $\text{NO}_2$  і  $\text{N}_2\text{O}_4$ ). П'ятиокис азоту  $\text{N}_2\text{O}_5$  з оксидів за умов окислення не утворюється оскільки закис азоту  $\text{N}_2\text{O}$  киснем далі не окислюється [4].

Оксиди азоту переробляють в розведену (неконцентровану) азотну кислоту за допомогою їх поглинання з газової фази водою, амічною водою або розбавленою азотною кислотою. Для цього нітрозні гази охолоджують і направляють в поглинювальні башти або колони абсорбції, де відбувається окислення  $\text{NO}$  і поглинання оксидів азоту, що утворилися. Залежно від умов охолодження і окислення в газовій фазі можуть бути присутніми різні оксиди азоту, які реагують з водою по реакціях [1]:

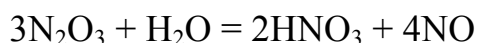
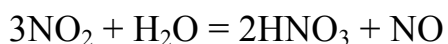




З практичної точки зору не має значення що реагує з водою - двоокис або чотириокис азоту, оскільки швидкість їх взаємного перетворення дуже велика, а кількість утворених з  $\text{NO}_2$  і  $\text{N}_2\text{O}_4$  азотистої і азотної кислот є однаковою. Процес отримання азотної кислоти пов'язаний з розчиненням у воді  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}_4$  і  $\text{N}_2\text{O}_3$ . У газовій фазі в результаті взаємодії пари води з оксидами азоту утворюється також незначна кількість азотної і азотистої кислот. Азотиста кислота малостійка і розкладається з утворенням азотної кислоти і окислу азоту по сумарній реакції [4]



Розрахунки показують, що за звичайних умов рівноважний вміст азотистої кислоти в розбавленій азотній кислоті дуже низький. Швидкість розкладання азотистої кислоти з підвищенням температури різко збільшується, проте і при звичайній температурі швидкість цієї реакції дуже велика. Сумарні реакції утворення азотної кислоти з урахуванням розкладання азотистої кислоти описуються рівняннями [3]



За літературними даними, при ступені окислення газу менше 50 %, розчини азотної кислоти поглинають оксиди азоту у вигляді  $\text{NO} + \text{NO}_2$ . При високому ступені окислення газу відбувається поглинання оксидів азоту у вигляді  $\text{NO}_2$ . При парціальному тиску двоокису азоту 0,1 атмосфер отримання азотної кислоти, що має концентрацію більше 60 %  $\text{HNO}_3$ , практично неможливе. Тому у виробничих умовах при атмосферному тиску важко отримати кислоту з концентрацією вище 50 %, проте це і не є проблемою, оскільки досліджуване виробництво користується технологією виготовлення розведеної азотної кислоти за атмосферного тиску [6].

Важливими чинниками, що визначають високу швидкість утворення азотної кислоти, є проведення абсорбції під тиском при знижених температурах із

застосуванням багатих за вмістом оксидів азоту нітрозних газів і створення умов для ефективнішого зіткнення газу з рідиною [7].

У процесі виробництва розведеної азотної кислоти утворюються тверді, рідкі та газоподібні відходи. Тверді відходи — це відходи відпрацьованих каталізаторів, побутові відходи (макулатура, харчові відходи), промислове сміття, відходи утворені при виконанні ремонтних робіт (опалки електродів, прокладочний матеріал). Тверді відходи збирають в контейнери та відправляють на переробку або на утилізацію.

Рідкі відходи — це відходи оброблених мастил та водних хімзабруднень утворених промиваннями трубопроводів від азотної кислоти та промиванням апаратів, коли їх відправляють на ремонт. Відходи відпрацьованих мастил збирають в баки для відпрацьованого мастила та відправляють на регенерацію. Хімзабруднені води збирають в нейтралізатори, де проводять нейтралізацію азотної кислоти, що там присутня. Далі вміст шкідливих речовин в водних стоках приводять до норми шляхом їх розведенням водою після чого зливають в хімзабруднену каналізацію для подальшої біохімічної очистки.

Газоподібні відходи у виробництві розведеної азотної кислоти це очищені залишки нітрозних газів та вентиляційні викиди які надходять у атмосферу через вихлопні і вентиляційні труби з технологічного циклу та виробничих приміщень. Там знаходяться оксиди азоту, пари азотної кислоти, аміак, абразивний пил від заточних станків. Оскільки оксиди азоту наносять велику шкоду навколишньому середовищу то перед їх викидом в атмосферу оксиди відновлюють до елементарного азоту зменшуючи цим вміст NO до 0,005 %.

В цілому виробництво азотної кислоти (в тому числі розведеної азотної кислоти) є досить небезпечним з боку вибуховості та наявності хімічних сполук у газоподібному та рідкому станах. Велика кількість технологічного обладнання різного роду, габаритів та функціональності, що задіяна у технологічних процесах, робить виробництво складним та потребує застосування комплексної системи керування на різних рівнях виготовлення продукції.

З огляду на токсичність сировини та продуктів виробництва, габаритність підприємства, нагрівання газоподібних сполук до високих температур може призвести до катастрофічних наслідків при виникненні тієї чи іншої ситуації. Сила окислювання газів та кислотність речовин негативно впливає на внутрішню поверхню апаратів тим самим зменшуючи їх зношувальну стійкість.

Через перелічені фактори виробництво розведеної азотної кислоти можна вважати аварійним, тому постає необхідність у детальному аналізі та описі окремих технологічних процесів та використанні ситуаційного аналізу для виявлення проблеми та її ліквідування.

## **1.2 Технологія виробництва розведеної азотної кислоти**

Технологічну схему підприємства з виробництва розведеної азотної кислоти представлено на рис. 1.1.

Технологічну схему можна розділити на 6 послідовноз'єднаних технологічних процесів (етапів), кожен з яких складається з різного за кількістю та функціональністю технологічного обладнання: очищення повітря, подача синтетичного аміаку (сировини) та утворення АПС, приготування нітрозних газів, виготовлення розведеної азотної кислоти, абсорбція залишків оксидів азоту, нейтралізація шкідливих речовин виробництва.

Щоб видалити механічні забруднення повітря на очищення забирають вентилятором із зовнішнього середовища у скруббер 1, далі воно проходить фільтрування через суконні фільтри 2. Синтетичний аміак надходить у трубопровід паралельно, змішується з очищеним повітрям та вентилятором 3 подаються в систему [8].

Перед надходженням до каталізатора АПС повторно фільтрують крізь поролітовий чи картонний фільтр 4. Фільтр розміщують на конверторі 5, який монтують послідовно з котлом-утилізатором 6.

Синтетичний аміак подається в систему вже попередньо підігрітий до температури 200..250 °С. Така особливість подачі сировини скорочує час нігрівання АПС, що призводить до швидшого приготування нітрозних газів.

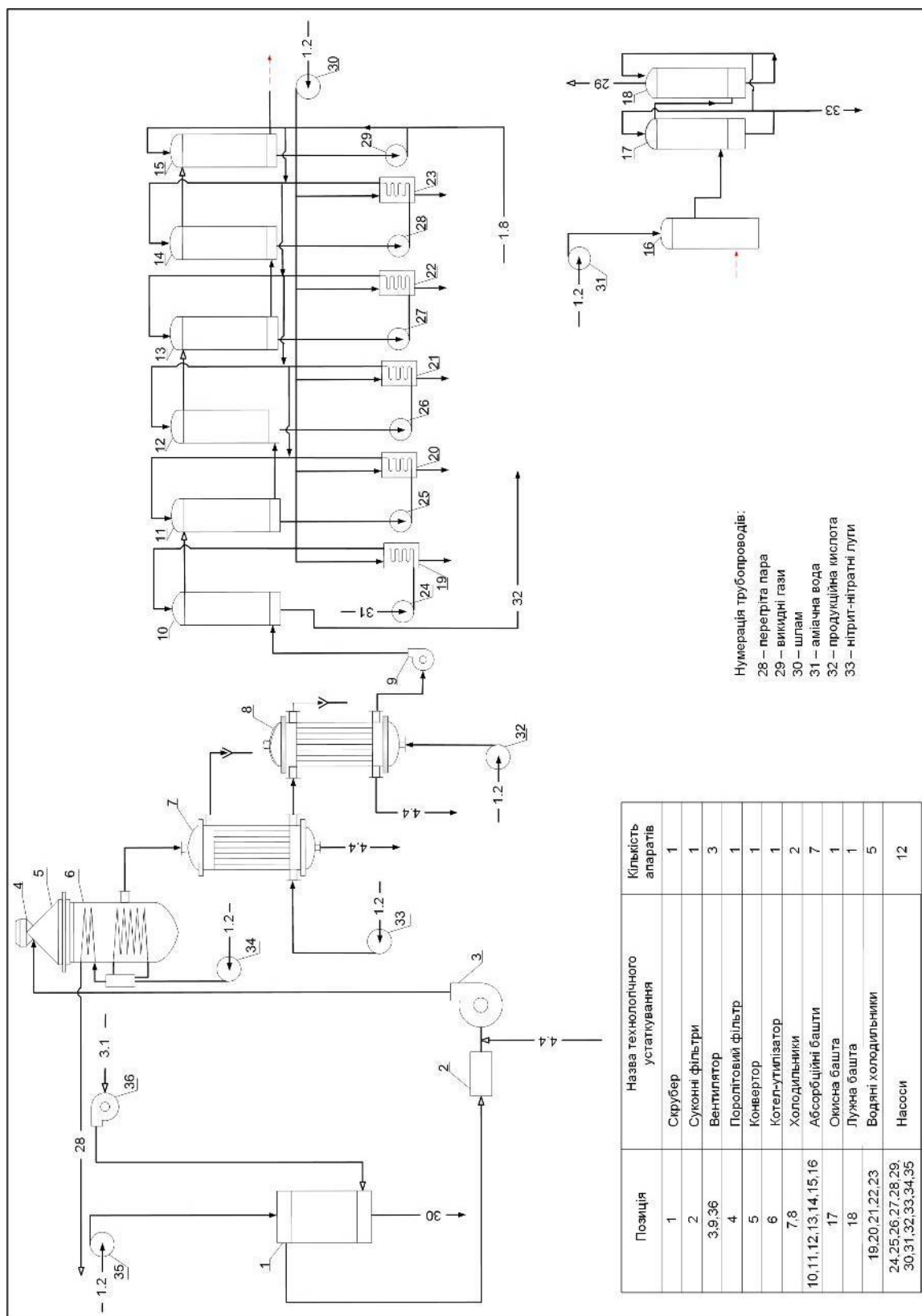


Рисунок 1.1 – Технологічна схема виробництва розведеної азотної кислоти:  
 1 – скруббер; 2 – суконні фільтри; 3, 9 – вентилятор; 4 – поролітовий фільтр; 5 – конвертор;  
 6 – котел-утилізатор; 7, 8 – холодильник; 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 – абсорбційні башти;  
 17 – окисна башта; 18 – лужна башта; 19, 20, 21, 22, 23 – водяні холодильники;  
 24, 25, 26, 27, 28, 29 – відцентрові насоси.

Оксиди азоту, а саме ті що абсорбуються  $\text{NO}_2$  та  $\text{NO}$ , утворюються за надто високих температур. Приготування нітрозних газів (оксидів азоту) проходить за температур, значення яких сягають  $700 - 850^\circ\text{C}$ . Таких значень неможливо досягнути звичайними способами нагрівання апаратів гарячою парою. На виробництві розведеної азотної кислоти температур величиною  $850^\circ\text{C}$  досягають методом підігрівання платиново-іридієвих каталізаторних сіток у конверторі.

У котел-утилізатор подається вода, яка прямоютоком протікає по змійовику. Нагріваючись, вона перетворюється в паро-водяну суміш, що сепаратором розподіляється на воду та пару. Із сепаратора, крізь змійовик-перегрівальник у верхній частині котла-утилізатора, розділена пара, температура якої сягає  $723^\circ\text{C}$ , а тиск – 4 МПа, поступає до системи підприємства. Потужна система охолодження, на цьому етапі, знижує температуру нітрозних газів від  $880^\circ\text{C}$  до  $250^\circ\text{C}$ . Далі гази проходять охолодження у двох холодильниках 7 і 8, з'єднаних послідовно. Через взаємодію холодної води та гарячих газів по стінках холодильників стікає конденсат. З першого холодильника 7 відбирають конденсат з вмістом  $\text{HNO}_3$  2..3 %, з другого холодильника 8 – конденсат з вмістом  $\text{HNO}_3$  вже 25..30 %.

Охолоджені нітрозні гази подаються на абсорбцію вентилятором 9. Його розміщують неподалік останнього холодильника. В абсорбційній системі гази послідовно переміщуються через шість-вісім абсорбційних колон 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16. В останню абсорбційну колону 16 протитечією подають холодну воду, щоб поглинути залишки оксидів.

Окрім води автоматично кожену колону зрошують кислотою потрібної концентрації. Зрошувальна кислота циркулюється відцентровими насосами 24, 25, 26, 27, 28, 29. У колони кислота подається насосами крізь водяні холодильники 19, 20, 21, 22, 23. З першої абсорбційної колони відводиться потрібна продукційна кислота.

В абсорбційних баштах 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, ступінь поглинання оксидів азоту (нітрозних газів) становить 92..94 %. Неабсорбовані оксиди азоту далі надходять до лужної башти 18. Щоб підвищити ступінь окислювання  $\text{NO}$  до

50..60 %, потрібно встановити пусту окислювальну башту 17 у систему серед кислотної і лужної абсорбції.

Лужний абсорбер так само працює використовуючи принцип протитечії. Лужних абсорберів зазвичай встановлюють два. Або розчин соди (200..250 г/л) або вапняне молоко (80..100 г/л) подається в останню башту за рухом нітрозних газів. Потім отриманий розчин лугу поступає в першу лужну башту, де в результаті перетворюється в нітрит-нітратні луги [8].

Приділяється увага до вибору параметрів що піддаються регулюванню. У вузлі окислення аміаку потрібно створити умови для отримання якісного продукту, тобто нітрозних газів з великим вмістом оксиду азоту. Для цього необхідно регулювати подачу аміачно-повітряної суміші (АПС) в контактний апарат — конвертор.

Існує потреба регулювати температуру на каталізаторних сітках, так як підвищення температури приводить до пришвидчення реакції і є головним чинником що призводить до нестаціонарних процесів у виробництві. Регулювання температури допомагає підтримувати оптимальний температурний режим, попереджує прогорання сіток (одна з причин аварійного режиму). Регулювання виходу перегрітої пари з котла-утилизатора сприяє уникненню перевитрати пари таким чином попередивши корозію змієвиків та нестаціонарних змін температури у конверторі.

Виготовлення розведеної азотної кислоти за дотримання тиску 0,8 Мпа є складним хіміко-фізичним процесом. Його особливістю є високі швидкості протікання хімічних реакцій та токсичність сировини. Зважаючи на ці обставини, ручне керування не може забезпечувати оптимальної та безаварійної роботи підприємства.

Безумовно на виробництві існують причини для виникнення нестаціонарних процесів, ситуацій що можуть призвести до передаварійного та аварійного стану підприємства. Нестабільні властивості сировини та температура охолоджувальних речовин, зношення каталізаторів, накіп на стінках обладнання є прямими джерелами нестаціонарних тенденцій.

Раптові зміни значень параметрів, відмова функціонування приладів, пошкодження стінок та корпусів технологічного обладнання є причинами для виникнення аварій на виробництві. Стабільне відхилення в гіршу сторону якості сировини та продукції, наближення значень контрольованих параметрів до допустимих меж виступають джерелами виникнення ситуацій що в майбутньому можуть сприяти аварійних процесів.

Виникнення будь-якого роду проблем вимагає виконання сукупності операцій для їх усунення та уникнення можливих негативних наслідків, що підтверджує потребу у застосуванні методів ситуаційного підходу та надійних, швидких систем автоматизованого контролю і регулювання.

Використання методів ситуаційного аналізу, створені системи та алгоритми сприятимуть безаварійній роботі технологічного обладнання, забезпечать безпеку для персоналу, значно підвищиться економічна ефективність виробництва, оскільки матеріальні та енергетичні затрати зменшаться, що позитивно вплине на продуктивність праці. Безпосередньо регулювати процесами можна з центрального щита та за допомогою вказівок до дій апаратчика по засобах телефонного зв'язку.

Для контролю варто вибрати такі параметри: концентрація нітрозних газів, концентрація розведеної азотної кислоти, витрата розведеної азотної кислоти.

Застосування методів ситуаційного керування – єдиний спосіб вирішення проблем для деяких задач, але для цього потрібно дослідити саму суть ситуаційного підходу разом із застосуванням його методів для практичного вирішення задач. Розглядаючи виробництво розведеної азотної кислоти такими окремими задачами можуть бути раптові пошкодження обладнання, припинення належного постачання сировини, перевищення температурних режимів для конвертора, холодильників та абсорбційної башти.

### **1.3. Аналіз існуючих систем ситуаційного керування**

Ситуаційний аналіз – це комплексні технології підготовки, прийняття та реалізації рішення по керуванню тим чи іншим процесом. В основі рішення лежить аналіз окремої ситуації для якої розроблюється рішення.

Актуальність створення систем ситуаційного аналізу [9] обумовлена підвищеними вимогами до управління складними хіміко-технологічними системами, такими як виробництво та хіміко-технологічний процес.

Ситуаційний аналіз можна розглядати як інструмент оперативного, тактичного та стратегічного керування застосування якого призводить до послідовної ідентифікації ситуації, створення її моделі, прогнозування ситуації та за необхідністю застосування управлінського рішення [10].

Як показує практика, існуючі системи ситуаційного аналізу орієнтовані на збір, зберігання та представленні даних про стан об'єкта хіміко-технологічної системи (ХТС). В таких системах особлива увага спрямована на візуалізацію інформації, її представлення на великих екранах чи панелях, оскільки від форми та обсягу інформації залежить її сприйняття експертом чи особою що приймає рішення (ОПР).

В автоматизованих системах управління складними динамічними системами (організаційними, виробничими, технологічними та ін.) в даний час широко застосовуються дискретно-подієві моделі для опису поведінки системи на ситуаційному рівні і завдання алгоритмів автоматизованої підтримки прийняття рішень (графи переходів, мережі Петрі, ієрархічні ситуаційні моделі тощо). Ці моделі використовуються як на етапі проектування системи управління, так і при її реалізації в якості «вбудованої» бази знань щодо прийняття рішень в різних ситуаціях.

Методи ситуаційного аналізу покликані надати ОПР допомогу у проведенні аналізу ситуації, встановленні факторів [11] що викликають розвиток ситуації, формулюванні критеріїв та обмежень прийняття виробничого рішення. Фактично ці



методи дозволяють провести збір та обробку інформації необхідної для діагностики проблеми та формулювання критеріїв і обмежень прийняття виробничого рішення.

З практичної точки зору більш перспективним є управління системами по ситуаціях, при якому процес функціонування керованого об'єкта визначається таблицею рішень, вхідним рядком якої є ситуації, а вихідним стовпцем — рішення [12].

У розвиток підходу до управління на основі дискретно-подієвих моделей внесли вклад вітчизняні та зарубіжні вчені Д. А. Поспелов [9], А. Ф. Кравчук [13], А.П. Ладанюк [13, 14], Ю. В. Прокопенко [13], Б.М. Гончаренко [15], В.Д. Кишенько [14, 15], Л.Г. Віхрова [15] та ін. Також був запропонований і протягом кількох років досліджується один з класів дискретно-подієвих моделей - так звані ієрархічні ситуаційні моделі (ICM), орієнтовані на ситуаційне управління.

В основі застосування дискретно-подієвих моделей для опису поведінки динамічної системи лежить принцип поточного стану, згідно з яким прийняття рішень здійснюється на основі поточних значень спостережуваних параметрів і поточного стану, в якому зосереджена вся суттєва інформація про передісторію процесу управління. Стани системи (ситуації) задаються вершинами, а переходи станів (ситуацій) - дугами графа переходів моделі.

Таким чином, розробник системи управління повинен представити всю необхідну інформацію про передісторію системи в формі вершин (або ієрархії вершин) дискретно-подієвої моделі. У багатьох випадках розробники успішно справляються з цим завданням, створюючи ефективну і досить зрозумілу систему правил прийняття рішень.

Однак на практиці часто процес прийняття рішень суттєво залежить від передісторії поведінки системи, і в цих випадках побудова такої моделі супроводжується значними труднощами і породжує моделі, незручні для подальшого аналізу, реалізації і експлуатації. Причина цього криється в тому, що в самій формі моделі відсутні можливості явного обліку передісторії ситуаційного поведінки системи.

Ситуаційний підхід означає що унікальні ситуації потребують розроблення унікального рішення, заснованому на системному розгляді ситуації з урахуванням великої кількості деталей та утворення рішення на основі їх аналізу.

Формалізація ситуаційного підходу призвела до виникнення нового підходу до побудови систем підтримання прийняття рішень, так званого ситуаційного керування [10], яке застосовується у випадках важкого для формалізації об'єкта керування.

При системно-структурному підході до автоматизації процесу прийняття рішень в соціально-економічних, технічних та інших, більших системах виникає проблема створення узагальненої моделі структури і законів функціонування системи.

Якщо в пам'яті обчислювальної машини є якимось чином сформована модель управління, то за допомогою цієї моделі можна передбачити наслідки прийняття тих чи інших рішень і вибрати оптимальне рішення з допустимої множини рішень відповідно до заданого критерію управління на підставі опису конкретної ситуації об'єкта управління.

Рішення зазначеної проблеми вимагає оперування з мовою більш високого порядку, ніж часто використовувана мова рівнянь (диференціальних, функціональних, алгебраїчних, логічних та інших.), на яких базується багато сучасних методів управління. При цьому управління представляється як процес знаходження рішення системи рівнянь, що дає екстремум оціночного функціоналу.

Методами ситуаційного керування є відомі (або зводяться до відомих) методи розпізнавання образів, прийняття рішення за аналогом, декомпозиція задач, накопичення та обробка даних та знань (в тому числі знання спеціалістів), імітація станів об'єкта. Тому можна зробити висновок, що ситуаційне керування складається із сукупності відомих методів.

На початковому етапі призначають експерта-керівника ситуаційного аналізу, який відповідає на всіх трьох етапах за методологічні, організаційні та редакційні питання. Метою першого етапу є створення групою експертів аналітичного

сценарію ситуації як цілісної динамічної системи (підсистеми) з властивими їй внутрішньою структурою і зовнішніми взаємозв'язками.

### **1.3.1. Метамоделі інформаційної системи для ситуаційного аналізу**

Суть метамоделювання [16] полягає в тому, що розробка базується на створенні такої інтегрованої моделі (метамоделі), що описує моделі програм, моделі даних та моделі бізнес-процесів та об'єднує їх в універсальне уявлення (наприклад на мові XML), яке потім перетворюється в відповідні коди програм та структури даних. Використовуючи таку метамоделі можна реалізувати системи направлені на ситуаційний аналіз різних аспектів діяльності виробництва, а не на конкретно виділений процес [16].

Таким чином, метамоделі інтелектуальної розподіленої інформаційної системи (ІРІС) можна представити наступним чином (рис. 1.2.).

Склад компонентів аналітичної обробки далі розглядається детальніше.

Компонент аналізу даних призначений для перевірки даних на наповненість, достовірність та непротиворічність, а також на виконання порівняння поточних показників з еталонними.

Компонента вибору моделі складається з компонентів які призначені для:

- зберігання моделей;
- створення нових моделей (автоматично по зібраних даних, створення моделі експертом, створення нової моделі на основі існуючих);
- конфігурації моделей – зміна їх параметрів;
- оцінки адекватності моделей – автоматично по статистичних даних або експертом.

Компонента моделювання проводить прогнозування значення факторів що визначають ситуацію. Імітаційне моделювання необхідне для динамічного аналізу ситуацій. Таке моделювання дозволяє «перегравати» сценарії розвитку ситуації змінюючи параметри самих факторів та зв'язків між ними, з ціллю виявлення негативних факторів, які можуть призвести до «несприятливої» ситуації [16].

Компонента моделювання включає такі підкомпоненти: зберігання сценаріїв моделювання; створення нових сценаріїв; конфігурація сценаріїв; перетворення моделей (у випадку, якщо моделювати неможливо або обмежене на основі обраної моделі).

Компонента застосування управлінського рішення шукає, готує та проводить обґрунтування управлінських рішень необхідних для досягнення цілей.

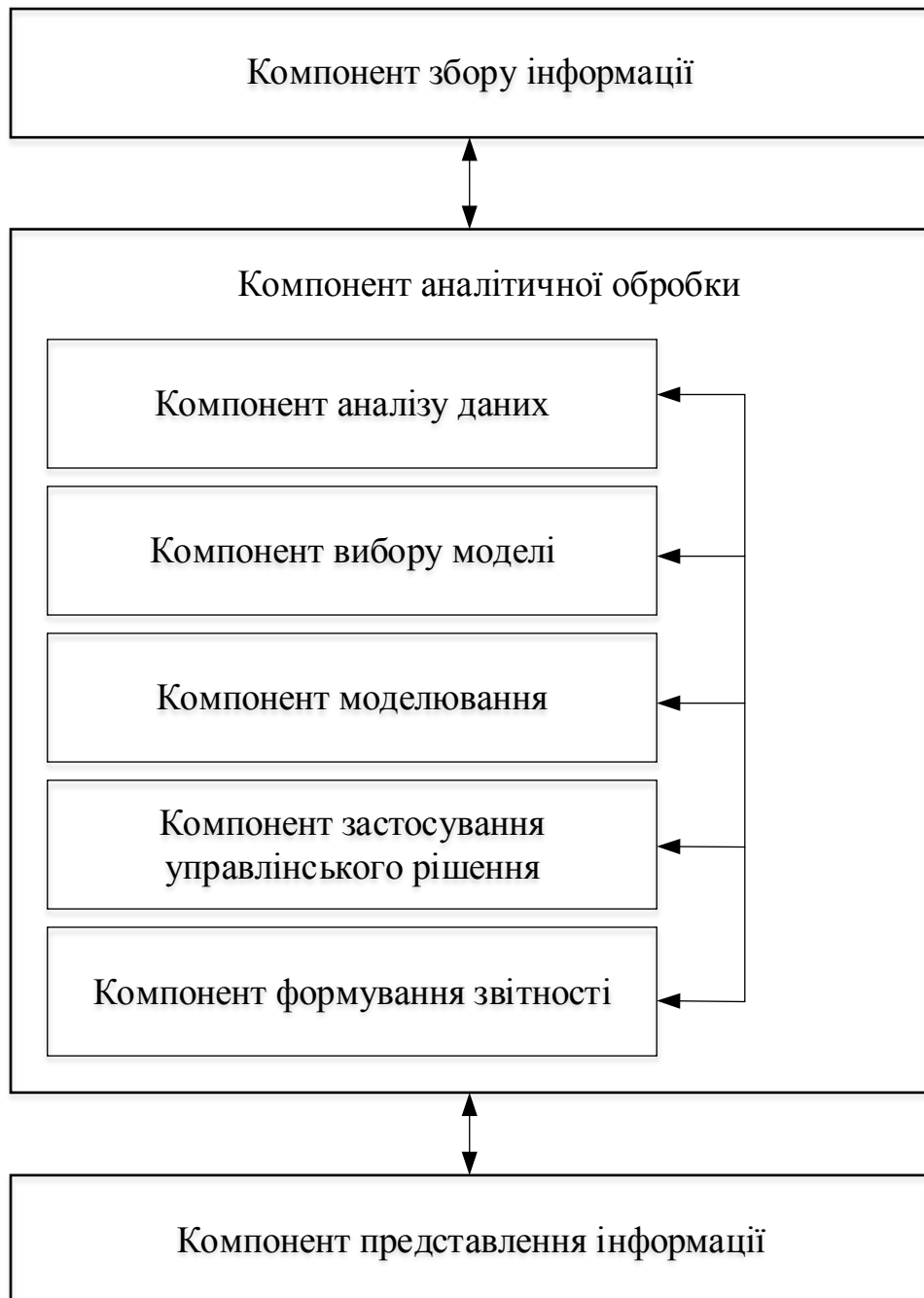


Рисунок 1.2. - Мета модель IPIC

Компонента формування звітності дозволяє підготувати пакет документів для ОПР. Це здійснюється користувачами системи.

Компонента збору інформації призначена для збору, збереження та пошуку статистичних даних, збереження еталонних значень.

Компонент представлення інформації призначений для виведення інформації в ефективному вигляді, наприклад з текстового в графічних вигляд, побудування графіків, створення анімації. Також цій компоненті потрібно володіти властивістю представлення інформації на декілької екранах, сенсорних панелях і т. п [16].

Метод зі створенням та використання метамоделей у виробництві розведеної азотної кислоти частково результативний. До недоліків запропонованого методу відноситься переважно його застосування до бізнес-процесів підприємств або таких, у яких невелика кількість причин для виникнення аварійності.

Перевагами метамоделювання є структурованість та зручність використання методу за рахунок його функцій та компонентів.

### **1.3.2. Алгоритм прийняття рішень на стратегічному рівні управління складними організаційними системами захисту**

Вирішальний фактор процесу управління – рішення. Згідно цього вирішуючим моментом стратегічного управління являється стратегічне рішення [17]. Вони впливають на масштабні процеси від яких залежить подальша робота та існування підприємств та виробництв.

Існують незворотні рішення, які приводять в дію механізми що не можливо зупинити. Відповідно на особах, що приймають рішення (ОПР) з питань безпеки роботи виробництва лежить особлива відповідальність.

Між сучасними фахівцями звучать різні погляди, думки на зміст процесу утворення рішення. Більшість з них розглядають такий процес як послідовні стандартні управлінські дії (збір даних про стан об'єкта, оцінка його стану та приналежності до потрібного стану, вивчення змісту проблем, заходи з їх вирішення та формування управлінського рішення). Запропонований алгоритм можна застосовувати для будь-якої ланки керування процесами. Проте за організації

виконання створення управлінського рішення на стратегічному рівні щодо габаритних організаційно-технічних систем виникають деякі особливості. Для їх обліку необхідно уточнити відомий розроблений алгоритм у відповідності до особливостей процесу утворення рішення на таких рівнях: стратегічному та вищому [17]. Структуру наведено на рис. 1.3.

Результатом роботи особи що приймає рішення з запропонованою системою, алгоритм якої зображений на рис. 1.3., є 3 цілі розвитку. На підставі аналізу значень, змісту показників цілей, ОПР заповнює декларацію про дії, які передбачаються втілити у життя після формування вектору розвитку системи якою він керує.

Основна кількість рішень, що приймаються людьми, викликають наслідки які абсолютно точно розрахувати та оцінити неможливо. Можна тільки припускати що один з декількох варіантів рішення забезпечить кращий результат [17].

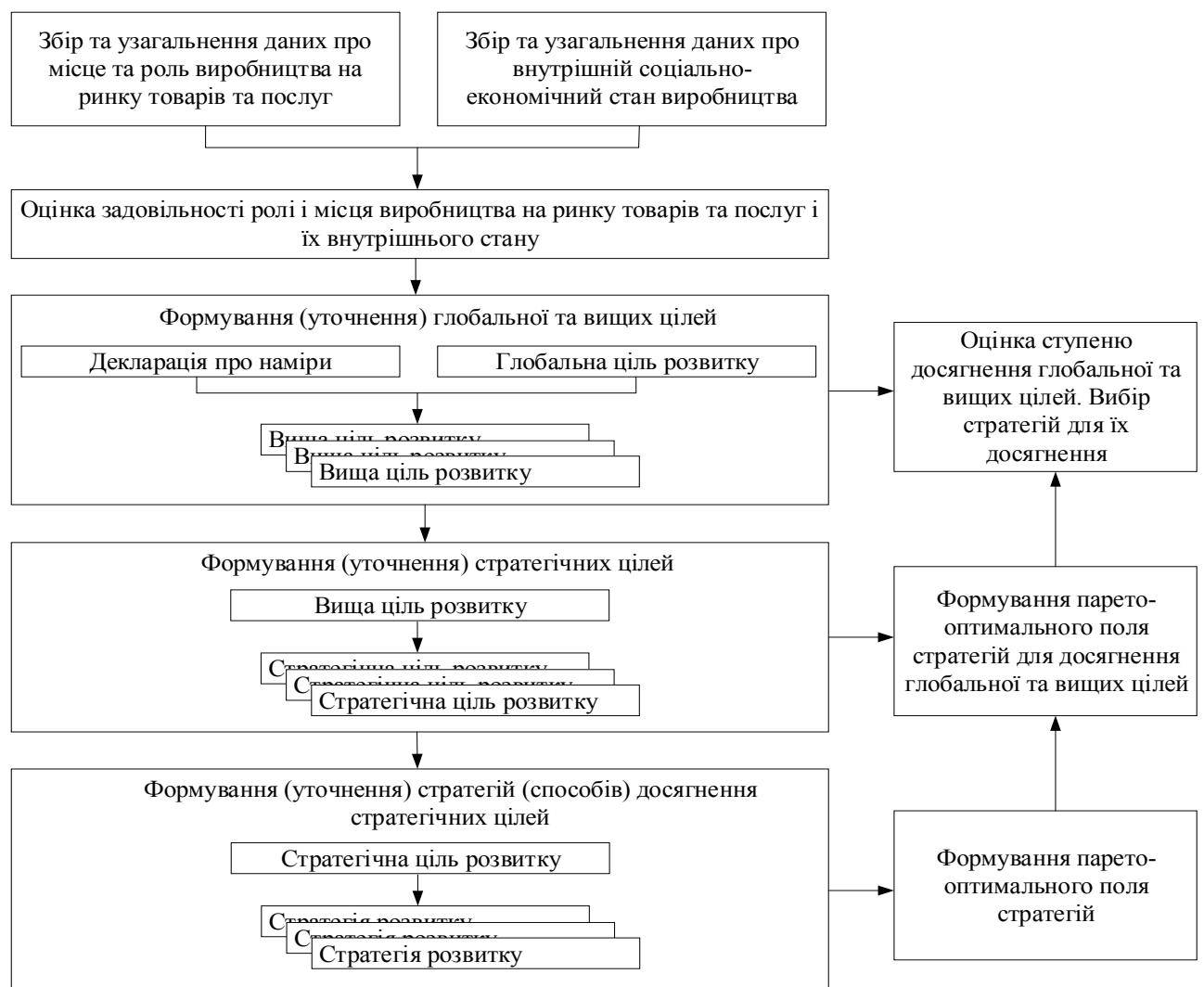


Рисунок 1.3. - Загальний алгоритм ухвалення рішення на стратегічному рівні управління

До переваг такого методу належить формування пріоритетності ситуацій та цілей розвитку ситуації, оскільки при виникненні на виробництві кількох ситуацій одночасно, важливо визначити яку з них вирішувати у першу чергу.

Недоліками є труднощі використання методу для габаритних організаційно-технічних систем, що потребує окремо розробленого алгоритму утворення рішення на таких стратегічному та вищому рівнях.

### **1.3.3. Система ситуаційного керування на основі технології Semantic Web**

Принциповим поняттям ситуаційного управління є висновок про те, що унікальність об'єкта керування потребує для його опису спеціальних програмних засобів, що відрізняються від математичних моделей [9]. Згідно цього більша частина інформації може виражатися засобами природньої мови (ПМ) та перекладатись на більш формальну мову семіотичної моделі [18], спеціально розробленої для ситуаційного керування. Таким чином, в основі опису ситуації лежить уявлення про неї у свідомості людини. Однією із особливостей такого уявлення є структурованість, тобто уявлення ситуації у вигляді сукупності об'єктів з відповідними іменами та встановленими відношеннями (просторові, часові, кількісні, каузальні та ін) [19]. Як відомо, людина оцінює відношення за допомогою психофізіологічних шкал, обумовлених об'єктивними властивостями своїх рецепторів [18].

Мова ситуаційного управління (МСУ) представлена в [9] складається зі словників базових понять, відношень, дій, оцінок, квантифікаторів, модифікаторів, імен та модальних операторів. Ці словники є достатньо повними та відображати всі сторони об'єкта керування та способів керування ним для створення повноцінної системи СУ [18].

Часто використовуються та розвиваються технології *Semantic Web*, засновані на використанні онтології та набору мов для роботи з ними. У якості основи онтологічної моделі ситуаційного аналізу було взято ядро онтології *SAW* (*Situation awareness*) зображене на рис. 1.4.

Така схема призначена для загального опису ситуацій. Створення онтології виконувалось з урахуванням ряду потреб описання ситуацій для виконання СУ [18]. По-перше, була необхідність у описуванні об'єктів, їх зв'язків а також зміну їх параметрів у часі. По-друге, була необхідність враховувати причинно-наслідкові зв'язки зміни об'єктів та зв'язків між ними для надання можливості пояснити їх. По-третє, використання запропонованої онтології має бути ресурсоощадним.

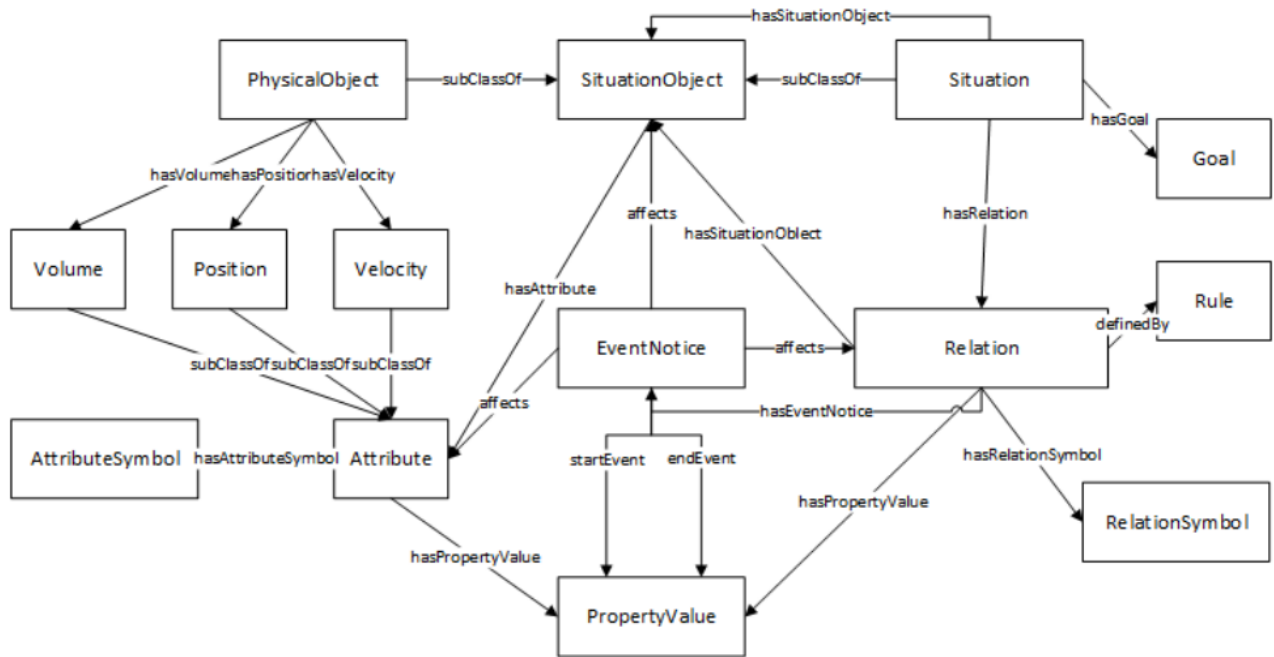


Рисунок 1.4. - Схема розширеної онтології описання ситуацій SAW

Поняття *Situation* визначає ситуацію як сукупність понять: *Goals*, *SituationObjects* та *Relations*. Поняття *SituationObjects* – події в ситуаціях, якф можуть бути фізичними та абстрактними. Поняття *PhysicalObject* – підклас поняття *SituationObjects* та має відповідні властивості, такі як *Volume*, *Position* та *Velocity*. Поняття *Relations* визначає зв'язки між впорядкованим набором понять *SituationObjects*.

Важливим аспектом *Attributes* та *Relations* є їх асоціювання зі значеннями змінними у часі. Для реалізації вимоги *Attributes/Relation* асоційовані з 0 та більше поняттями *PropertyValues*, кожне з яких налічує 2 функції, залежні від часу. Перша – для актуального значення, друга – для призначеного значення. Новий екземпляр поняття *PropertyValues* створюється для *Attribute/Relation* коли з'являється *EventNotice*, що впливає на *Attribute/Relation*.



Значення *Attribute/Relation* в конкретний момент часу (незалежно в минулому чи майбутньому) може визначатись доступом до функції екземпляру *PropertyValue* що відповідає за конкретний час. Поняття *EventNotices* налічує інформацію про події в ситуації у реальному часі отриману сесорами за конкретний час, що впливає на конкретні *Relation* або *Attribute* змінюючи їх *PropertyValue*. Події що фіксують зміни в ситуації та причину їх появи в *Attributes Relations*.

Класична система ситуаційного управління має структуру зображену на рис. 1.5.

Надійність рішень такої системи залежить від повного описання ситуації, конкретності логіки обрахування керувальної дії для конкретного класу ситуацій та правильності розподілення коефіцієнтів належності ознак до класів з урахуванням пріоритетів класів [18].

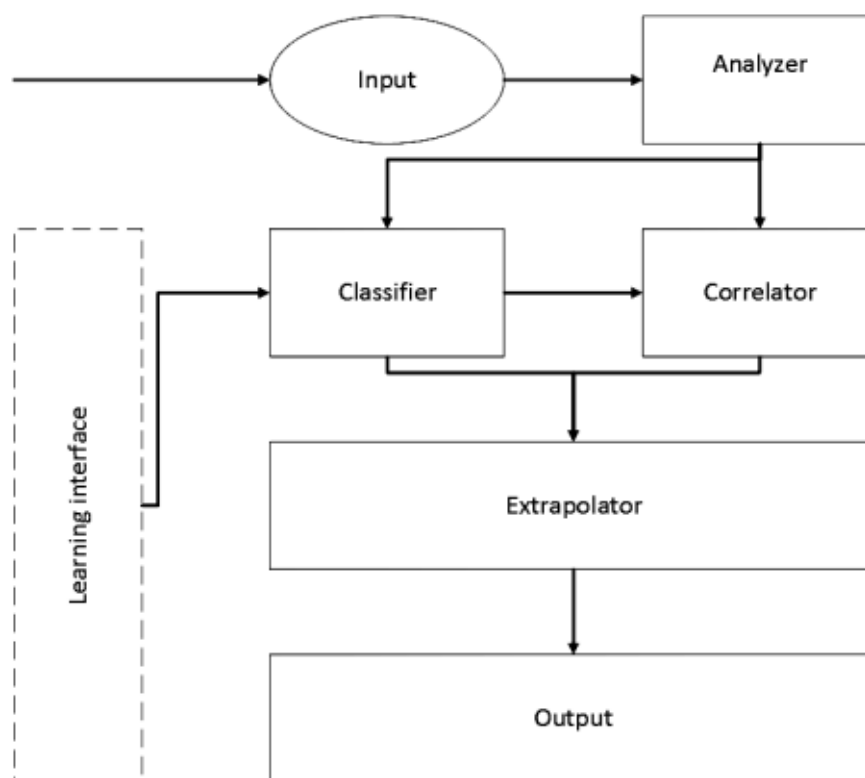


Рисунок 1.5. - Структура системи ситуаційного управління

Наведений метод ситуаційного аналізу є дуже інформативним, оскільки включає опис об'єктів, їх зв'язків а також зміну їх параметрів у часі; враховує причинно-наслідкові зв'язки зміни об'єктів та зв'язків між ними для надання

можливості пояснити їх; є ресурсощадним. Саме такі функції запропонованого методу будуть використовуватись у виробництві розведеної азотної кислоти.

Складнощі у використанні ситуаційного аналізу на основі технології *Semantic Web* можуть заключатися у реалізації саме технології *Semantic Web* для досліджуваного виробництва розведеної азотної кислоти.

Проведені дослідження методів ситуаційного аналізу показують, що повністю запропоновані методи застосовувати нераціонально, проте варто користуватись перевагами цих методів для досягнення поставлених цілей.

#### **1.4. Основні задачі магістерської дисертації**

Зважаючи на особливості технології виробництва розведеної азотної кислоти, які можуть спричиняти різні умови проведення хімічних, масообмінних та теплових процесів, до основних задач магістерської дисертації належать наступні:

1. Аналіз режимів функціонування технологічних процесів на виробництві;
2. Застосування методів ситуаційного аналізу для попередження аварійних ситуацій;
3. Створення засобу реалізації ситуаційного аналізу у вигляді програми для робочого місця оператора-технолога;
4. Розробка стартап-проекту, метою якого є спостереження за поведінкою роботи виробництва.

## **2. МЕТОДИ СИТУАЦІЙНОГО АНАЛІЗУ У ВИРОБНИЦТВІ РОЗВЕДЕНОЇ АЗОТНОЇ КИСЛОТИ**

У цьому розділі буде проведено аналіз виробництва розведеної кислоти на основі якого планується перелічити можливі ситуації притаманні виробництву, що розглядається. Спочатку призначається керівник-експерт ситуаційного аналізу. На всіх етапах він відповідає за методологічні, організаційні та редакційні питання. Метою першого етапу є створення групою експертів аналітичного сценарію ситуації як цілісної динамічної системи (підсистеми) з властивими їй внутрішньою структурою і зовнішніми взаємозв'язками.

### **2.1. Аналіз режимів функціонування процесів виробництва розведеної азотної кислоти**

Забезпечення потрібної продуктивності ХТС, а також якості продукції не завжди можливе за рахунок типових автоматичних систем керування. Щоб попередити суттєві порушення у технології та усунути їх застосовують ситуаційний аналіз. Його алгоритми базуються на переліку специфічних ситуацій (режимів) для кожної ХТС. Особливо велике значення ситуаційне керування має у виробництві, де часто змінюється попит на продукцію та існує необхідність у застосуванні енергоощадних методів для запобігання втрати обсягу виробництва.

Аналіз виробництва та планування дій проводиться за використання ситуаційного аналізу.

Усі несприятливі ситуації поділяються на 3 групи, які в свою чергу відповідають трьом з чотирьох режимів роботи виробництва [20 Попович]: нестационарний, передаварійний, аварійний та стаціонарний – сприятливий режим функціонування виробництва. Такий розподіл зумовлений аналізом технологічної схеми виробництва (рис. 1.1.).

Виділених чотирьох режимів роботи підприємства є цілком достатньо для спостереження за процесом виробництва. Також виокремлені режими є у більшій мірі стандартними для кожного підприємства.

Найважливішим завданням підприємства є підтримання стаціонарного режиму кожної з технологічних підсистем. Процес називається стаціонарним у тому випадку, коли його статистичні властивості (математичне сподівання, дисперсія) контрольованих параметрів залишаються незмінними в часі. Нестаціонарний режим навпаки передбачає порушення цих вимог.

Стаціонарний режим роботи виробництва можна визначати за наведеними далі технологічними показниками [20]:

- тиск в абсорбційній башті 10;
- витрата розведеної азотної кислоти;
- співвідношення витрати аміачної води до витрати нітрозних газів;
- концентрація нітрозних газів;
- концентрація розведеної азотної кислоти в межах.

На концентрацію  $HNO_3$  значною мірою впливають зміни витрати аміачної води, коливання концентрації  $NO$  та  $N_2O$  у нітрозних газах та витрати нітрозних газів. Особливого впливу завдають концентрація та витрата аміаку і коливання тиску у абсорбційній башті.

Віднесення ситуації до нестаціонарної [20] може бути виконано за результатами спостереження за тими показниками, які характеризують стаціонарний режим роботи виробництва. Коли значення описаних показників починають змінюватись поза значень технологічного регламенту таким чином демонструючи відмінний від стаціонарного напрямок функціонування, можна сказати що спостерігається тенденція нестаціонарності [21].

Причинами порушення стаціонарного режиму [20] є диференціація значень певних параметрів, схема зв'язків між ними зображена у додатку А на рис. А.1. До них можна віднести кількість та властивості сировини, температура у котлі-утилізаторі та теплообмінниках для отримання нітрозних газів з АПС.

Погана робота технічних засобів автоматизації (ТЗА) та зміна стану апаратури також може спричинити нестаціонарність у функціонування ХТС, оскільки з часом зношуються зовнішні та внутрішні поверхні установок та зменшується активність каталізаторів. Такі зміни призводять до порушення теплопровідності та

теплоізоляції елементів теплообмінників, водяних холодильників, котлів; через налип відбувається потовщення стінок, закупорення отворів у трубопроводах.

Якщо ігнорувати тенденції нестационарності, то така поведінка може нанести великих втрат виробництву. Щоб уникнути небажаних наслідків рекомендується проводити перевірку стаціонарності. Перевірку проводять методом порівняння дисперсій та математичних сподівань невеликих вибірок даних по концентрації розведеної  $HNO_3$ . У першому випадку перевіряються гіпотези за критерієм Фішера, в другому – за критерієм Стьюдента (детальніше про методи перевірки стаціонарності дивитись у пункті 2.3.1.).

Шляхами усунення нестационарності функціонування ХТС є Використання потрібних ТЗА, дотримання норм технологічного регламенту, математичного забезпечення системи автоматизації відповідної якості та складу, контроль якості сировини та стану обладнання є шляхами усунення нестационарності.

До передаварійного режиму [20] запропоновано віднести наступні ознаки та порушення технологічних параметрів:

- охолодження кислоти на виході з абсорбера 10 поза температурних меж 32..45 °С;
- підвищення температури в котлі-утилізаторі 6 вище 880 °С;
- перевищення тиску в абсорбційній башті 10 більше 0,73 МПа.
- витрата синтетичного аміаку поза межами діапазону 1338..1440 м<sup>3</sup>/год;
- витрата аміачної води на вході в абсорбційній башті 10 не відповідає діапазону 5347..6513 м<sup>3</sup>/год;
- витрата конденсату у водяні холодильники 19, 20, 21, 22, 23 менша за 310 м<sup>3</sup>/год.

Найбільш небезпечним є аварійний режим [20], який передбачає суттєве пошкодження технологічних апаратів та іншого обладнання. Окрім цього до аварійного режиму можна віднести вихід значень наступних показників за допустимі межі:

- зміна концентрації розведеної азотної кислоти нижче 47,5 % чи вище 50 %;
- зменшення витрати розведеної азотної кислоти нижче 5291 м<sup>3</sup>/год;

- зниження концентрації нітрозних газів менше 96 %.

За виникнення будь-якої з вищеперелічених аварійних ситуацій потрібно терміново зупинити виробництво та проконтролювати припинення роботи усіх технологічних процесів.

Як тільки значення розведеної  $HNO_3$  виходить за межі діапазону 47,5..50%, виробництво отримує брак.

Диференціація режимів є першим етапом застосування ситуаційного аналізу. Вона дозволить перейти до розробки алгоритмів усунення неефективних або навіть і небезпечних станів ХТС.

## **2.2. Створення та використання баз знань для аварійних ситуацій хіміко-технологічної системи виробництва розведеної азотної кислоти**

Виробництво розведеної азотної кислоти це складна ХТС. Велика розмірність підприємства, варіація значень показників якості продукційної кислоти та сировини, залежність ситуацій від пріоритетності цілей, багатоцільова поведінка є її характерними особливостями.

Згідно з особливостями, дотримання відповідної концентрації розведеної  $HNO_3$  є важливою задачею системи автоматизації.

Щоб виробництво виконувало плани по виготовленню свого опорного продукту важливо постійно дотримуватись стаціонарного режиму виробництва. На практиці такого дотриматись неможливо, оскільки зовнішні збурення будуть вносити свої корективи у роботу апаратів та виробництва в цілому.

Проте застосовуючи методи ситуаційного аналізу можливо розробити алгоритми поведінки оператора (ОПР) та його дій для уникнення негативних наслідків, які можуть спричинити зміни показників параметрів поза межами допустимого.

Початковим етапом розділу є створення бази знань (БЗ). Її завданням є урахування усіх можливих факторів впливу на процес для того, щоб надалі проаналізувати їх та вибрати найбільш суттєві. Фактори впливу відбирають компетентні в даній предметній області експерти. Аби комплексно зберегти

інформацію, використовується БЗ у вигляді таблиці. Двовимірна таблиця може розглядатися як реляційна база даних, але в даному випадку це частина бази знань, у складі якої описані факти.

БЗ для аналізу станів об'єктів процесів охолодження і абсорбції нітрозних газів наведена у таблиці Г.1. додатку Г.

Згідно з п. 2.1. до аварійних ситуацій належать наступні: погіршення якості продукції, а саме відхилення концентрації розведеної азотної кислоти в більшу чи меншу сторону ( $47,5..50\% \text{ HNO}_3$ ), втрата продуктивності (витрата розведеної  $\text{HNO}_3 < 5291 \text{ м}^3/\text{год}$ ), пошкодження технологічного обладнання та порушення функціональності приладів.

Згідно ієрархічної структури найвищий рівень позначається як нульовий ( $R=0$ ). У наступному рівні  $R=1$  потрібно зображувати ситуації-причини появи аварії на рівні  $R=0$ . На нижньому рівні  $R=2$  потрібно зображувати ситуації, які є причинами появи аварій на рівні  $R=1$ . Такий алгоритм працює доти, поки не з'явиться подія, що є першопричиною появи аварійної ситуації.

Аварії, записані у табл. Г.1. (додаток Г), повинні бути зображені на відповідних рівнях аварійного дерева. Бажано біля кожної дуги дерева записати імовірність того, що  $i$ -та подія рівня  $R1$  спричинена  $j$ -тою подією рівня  $R2$ . Коли дерево аварійності ситуацій побудовано, потрібно розрахувати імовірність появи аварії на верхньому рівні ( $R=0$ ).

Існує 2 варіанти по типу виникнення події:

1. Подія на рівні  $R0$  виникає тільки через одну причину на рівні  $R1$ , яка в свою чергу спричинена іншими ситуаціями на нижніх рівнях (рис. 2.1.);
2. Подія  $R0$  виникає через декілька причин на рівні  $R1$  (рис. 2.2.).

Згідно з рис. 2.1. аварія  $A_2$  відбудеться тільки тоді, коли виникне подія  $A_3$ , а подія  $A_1$  виникне, коли відбудеться подія  $A_2$ . Подія  $A_0$  станеться, якщо виникне подія  $A_1$ .

Отже аварія  $A_0$  рівні  $R0$  спостерігається лише тоді, коли відбудуться усі події схеми. Розрахунок імовірностей обраховується через добуток подій.

Ймовірність добутку двох подій  $A \cap B$  обчислюють за формулою:

$$P(A \cap B) = P_B(A) \cdot P(B),$$

де  $P(B)$  – ймовірність появи події  $B$ ,  $P_B(A)$  – ймовірність події  $A$  за умови, що відбулася подія  $B$ .

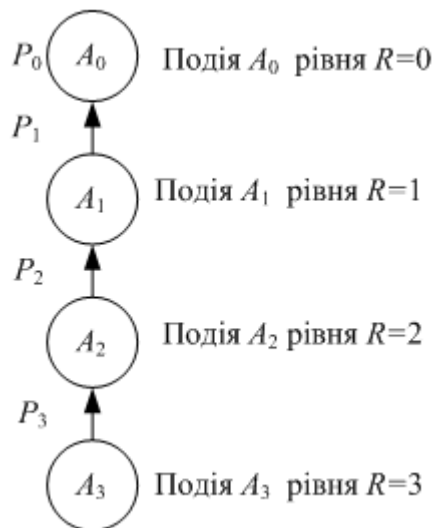


Рисунок 2.1. - Схема взаємозв'язків аварійних ситуацій через одну причину

З метою спрощення умовну імовірність, наприклад, події  $A_2$  позначається як  $P_{A3}(A_2)=P_2$ . Умовні імовірності появи подій  $A_1-A_3$  записуються як  $P_1-P_3$  відповідно. З огляду на записані позначення, ймовірність події  $A_0$  розраховується за формулою (2.1)

$$P_0 = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \quad (2.1)$$

Розрахунок ймовірності появи аварії  $A_0$  верхнього рівня  $R0$  через декілька причин розглянуто далі на прикладі мережі на рис. 2.2.

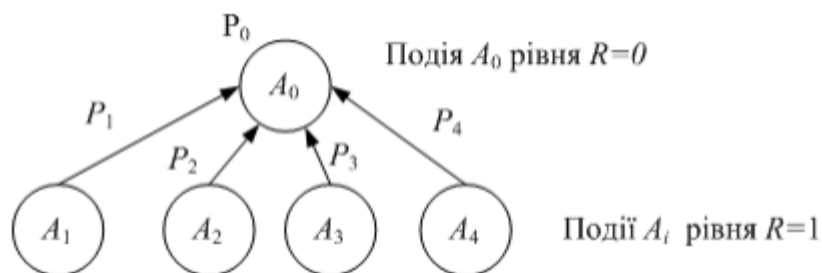


Рисунок 2.2. - Схема взаємозв'язків аварійних ситуацій через кілька причин



У даному випадку події  $A_i$  ( $i \neq 0$ ) є незалежними та сумісними. Це означає, що подія  $A_0$  виникне тоді, коли відбудеться хоча б одна з подій ( $A_1, A_2 \dots A_i$ ), або якісь з них попарно  $A_i A_j$ , або якісь по три  $A_i A_j A_k$ , або всі разом  $A_1 A_2 A_3 A_4$ . В цьому випадку подія  $A_0$  розглядається як сума подій  $A_i$ , для яких імовірність визначається за формулою (2.2)

$$P(A_1 + A_2 + \dots + A_n) = P(A_1) + P(A_2) + \dots + P(A_n) - P(A_1 A_2) - \dots - P(A_{n-1} A_n) + P(A_1 A_2 A_3) + \dots + P(A_{n-2} A_{n-1} A_n) + \dots + (-1)^n P(A_1 A_2 \dots A_n) \quad (2.2)$$

де  $P(A_1), P(A_2), \dots, P(A_n)$  – ймовірність виникнення подій  $A_1, A_2, \dots, A_n$ ;

$P(A_1 A_2)$  – ймовірність сумісного виникнення подій  $A_1$  та  $A_2$ ;

$P(A_1 A_2 \dots A_n)$  – ймовірність сумісного виникнення всіх  $n$  подій.

Ймовірність, з якою один вузол дерева призводить до виникнення іншого, визначається на етапі опитування експертів.

На рис. 2.3., 2.4., 2.5. зображені схеми взаємозв'язків між подіями аварійних ситуацій для виробництва розведеної азотної кислоти.

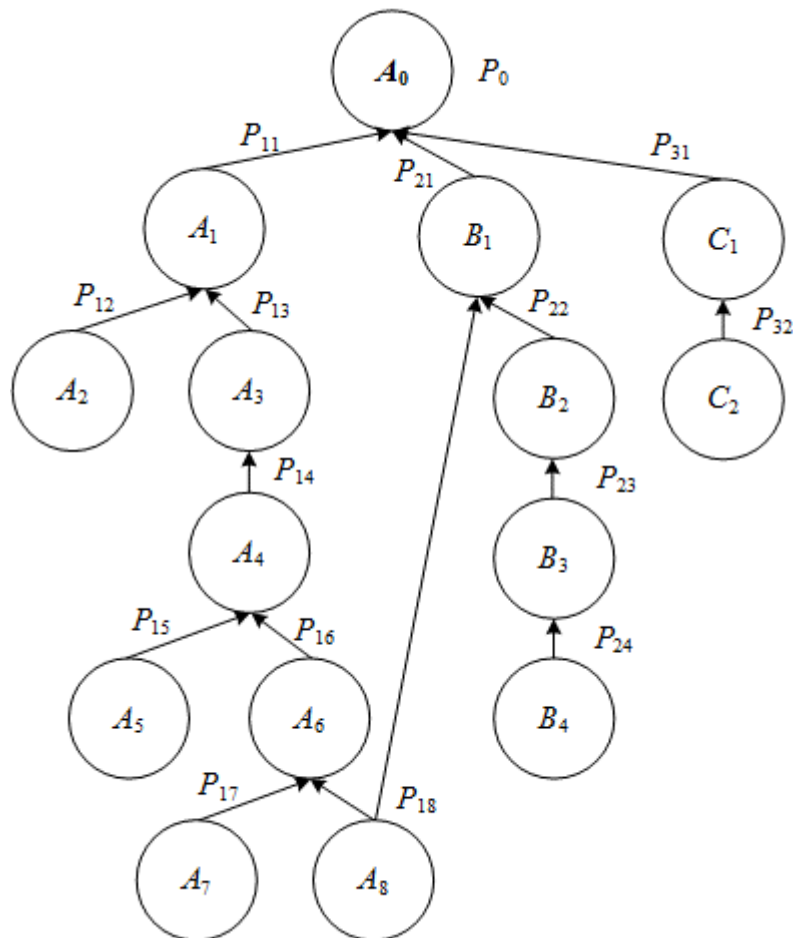


Рисунок 2.3. - Схема взаємозв'язків аварійних подій для ситуації, де концентрація  $HNO_3 < 47,5 \%$

За формулами (2.1) та (2.2) та відповідно рис. 2.3. розраховано імовірності виникнення аварійних подій у випадку, коли концентрація розведеної азотної кислоти менше за допустиму.

$$P_{18} = 0,08, P_{17} = 0,233, P_{15} = 0,186, P_{12} = 0,213, P_{24} = 0,04, P_{23} = 0,013, P_{32} = 0,086.$$

$$P_{16} = P_{17} + P_{18} - P_{17}P_{18} = 0,233 + 0,08 - 0,233 \cdot 0,08 = 0,294$$

$$P_{14} = P_{15} + P_{16} - P_{15}P_{16} = 0,18 + 0,294 - 0,18 \cdot 0,294 = 0,218$$

$$P_{13} = P_{14}(P_{15} + P_{16}) = 0,218(0,18 + 0,294) = 0,105$$

$$P_{11} = P_{12} + P_{13} - P_{12}P_{13} = 0,213 + 0,105 - 0,213 \cdot 0,105 = 0,296$$

$$P_{22} = P_{23}P_{24} = 0,013 \cdot 0,04 = 0,002$$

$$P_{21} = P_{18} + P_{22} - P_{18}P_{22} = 0,08 + 0,002 - 0,08 \cdot 0,002 = 0,08$$

$$P_{31} = 0,012$$

$$P_0 = P_{11} + P_{21} + P_{31} - P_{11}P_{21} - P_{11}P_{31} - P_{21}P_{31} + P_{11}P_{21}P_{31} = 0,296 + 0,08 + 0,012 - 0,296 \cdot 0,08 - 0,296 \cdot 0,012 - 0,08 \cdot 0,012 + 0,296 \cdot 0,08 \cdot 0,012 = 0,359$$

Згідно рис. 2.4. за формулами (2.1) та (2.2) обраховано імовірності виникнення аварійних подій для ситуації, коли концентрація продукційної кислоти перевищує допустимі значення.

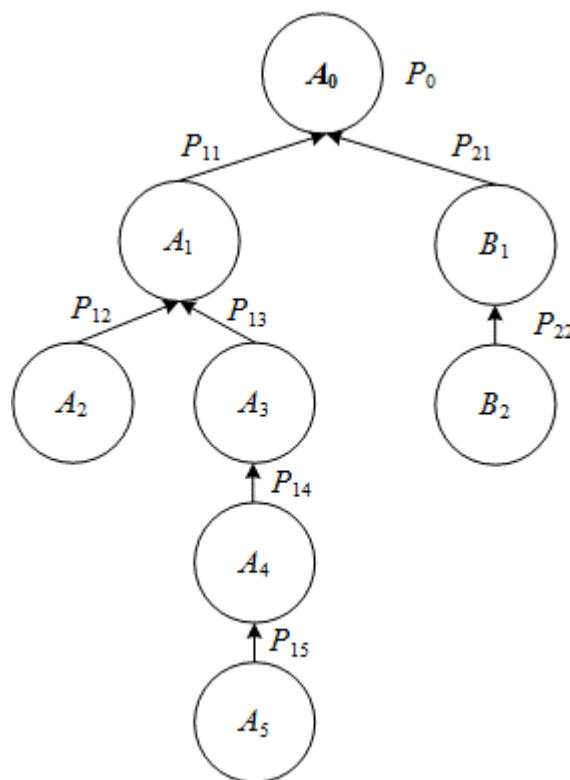


Рисунок 2.4. - Схема взаємозв'язків аварійних подій для ситуації, де концентрація  $HNO_3 > 50\%$

$$P_{15} = 0,086, P_{14} = 0,03, P_{12} = 0,126, P_{22} = 0,13, P_{21} = 0,05.$$

$$P_{13} = P_{14}P_{15} = 0,03 \cdot 0,086 = 0,0028$$

$$P_{11} = P_{12} + P_{13} - P_{12}P_{13} = 0,126 + 0,0028 - 0,126 \cdot 0,0028 = 0,128$$

$$P_0 = P_{11} + P_{21} - P_{11}P_{21} = 0,128 + 0,05 - 0,128 \cdot 0,05 = 0,173$$

Відповідно рис. 2.5. та формул (2.1) та (2.2) розраховано імовірності виникнення аварійних подій для ситуації низької продуктивності виробництва.

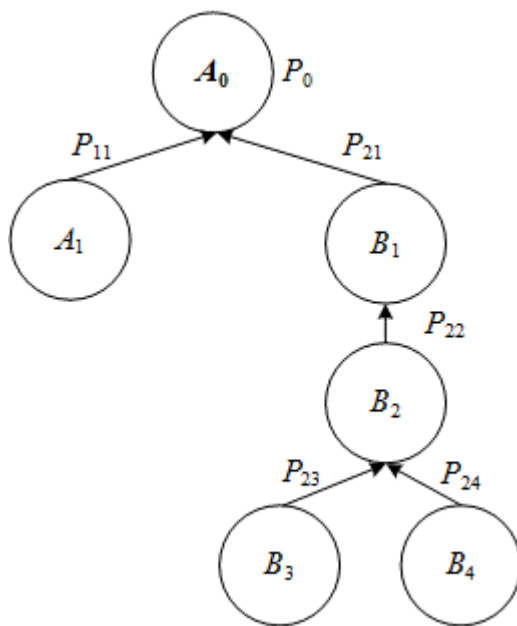


Рисунок 2.5. - Схема взаємозв'язків аварійних подій для ситуації, де витрата  $HNO_3 < 5291 \text{ м}^3/\text{год}$

$$P_{11} = 0,34, P_{23} = 0,213, P_{24} = 0,266.$$

$$P_{22} = P_{23} + P_{24} - P_{23}P_{24} = 0,213 + 0,266 - 0,213 \cdot 0,266 = 0,421$$

$$P_{21} = P_{22}(P_{23} + P_{24}) = 0,423(0,213 + 0,266) = 0,127$$

$$P_0 = P_{11} + P_{21} - P_{11}P_{21} = 0,34 + 0,127 - 0,34 \cdot 0,127 = 0,424$$

Отримані значення імовірності виникнення аварійних подій записуються у відповідний стовпець (п.17) таблиці Д4.1.

У додатку Б (рис. Б.1.) зображено граф залежності зміни показників технологічних параметрів. На ньому структурно описані допустимі межі технологічних параметрів які прямо або опосередковано впливають на якість кінцевого продукту — розведеної азотної кислоти.

Користуючись переліком аварійних ситуацій (п.15), їх причин (п.14) і наслідків (п.16), можна побудувати графи аварійних ситуацій для виокремлених

режимів. Кожна гілка аварійного графу повинна закінчуватися рекомендацією по усуненню аварійності. Приклад кількох графів зображено у додатку В (рисунки В.1., В.2., В.3.).

Побудовані графи виступають як графічна структура вербальної моделі міркувань ОПР у ході вирішення проблем, що пов'язані з виникненням аварійних ситуацій. У вузлах такої мережевої структури знаходяться імовірні відхилення технологічних параметрів від нормального режиму роботи.

Граф аварійності застосовують для розв'язання задач діагностування та прогнозування. Якщо дуги графу трактуються як "може бути викликаний", то використовується задача діагностування (рух по графу згори униз). Коли дуги трактуються як "може викликати", то це випадок прогнозування (рух по графу знизу нагору). Кінцеві наслідки аварій, такі як брак, втрата продуктивності, погіршення якості розташовуються на верхніх рівнях графів.

Існує багато програм для реалізації використання створених графів аварійності. Пропонується скористатись однією з таких програм під назвою *YarExpert*. Результати використання програми зображені далі. Структура графа аварійності В.1. у програмному середовищі *YarExpert* виглядає так (рис. 2.6.).

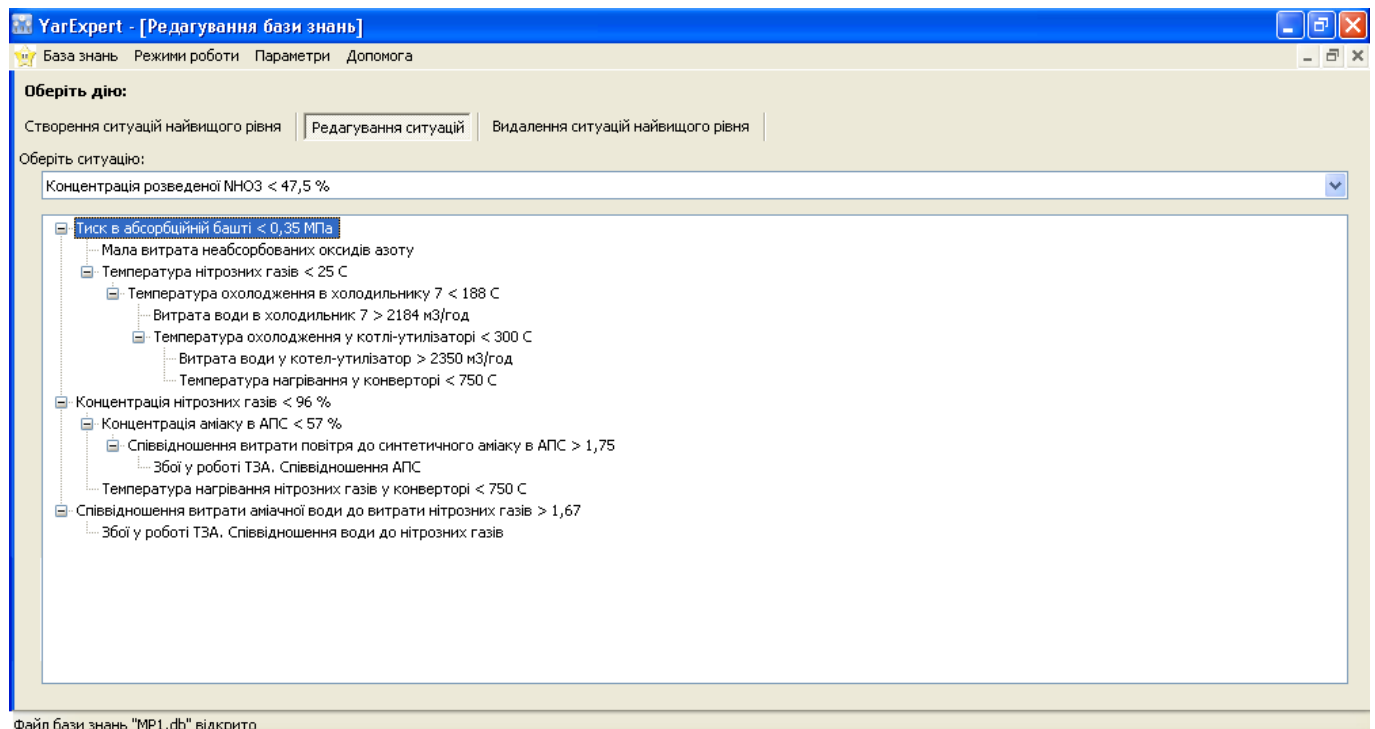


Рисунок 2.6. – Структура графу аварійності В.1. у програмі *YarExpert*

Структура графів аварійності на рис. В.2 та В.3. . у програмному середовищі *YarExpert* наведена на рис. 2.7. та 2.8. відповідно.

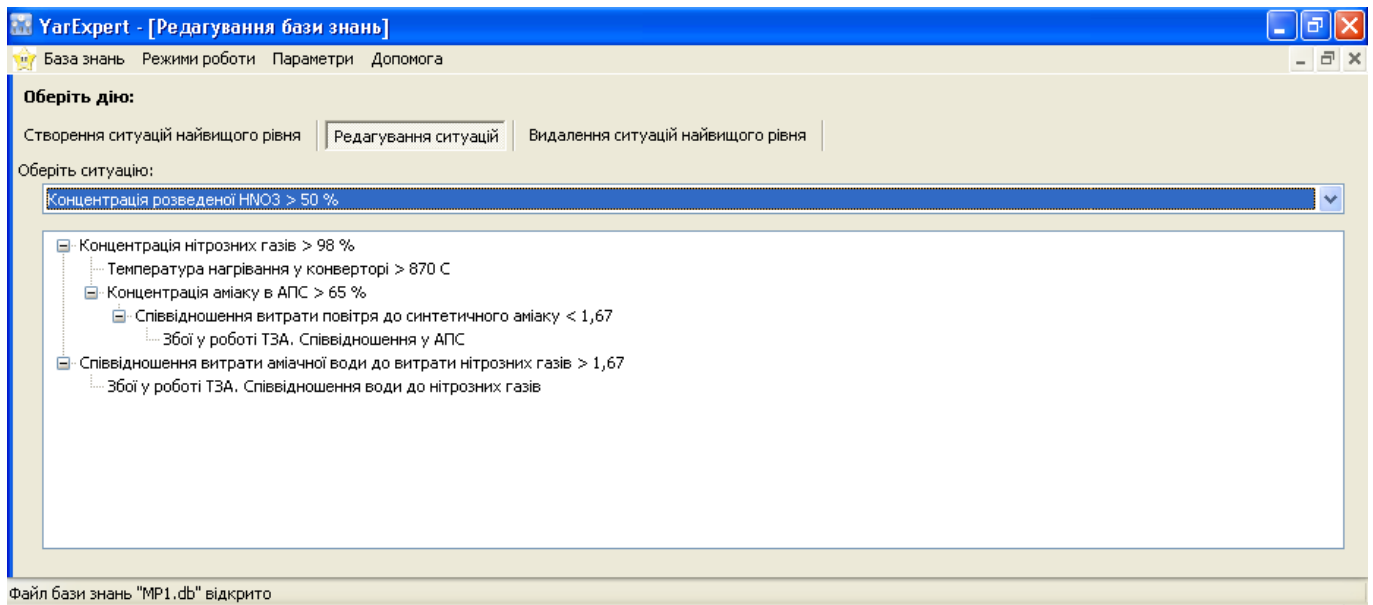


Рисунок 2.7. - Структура графу аварійності В.2. у програмі *YarExpert*

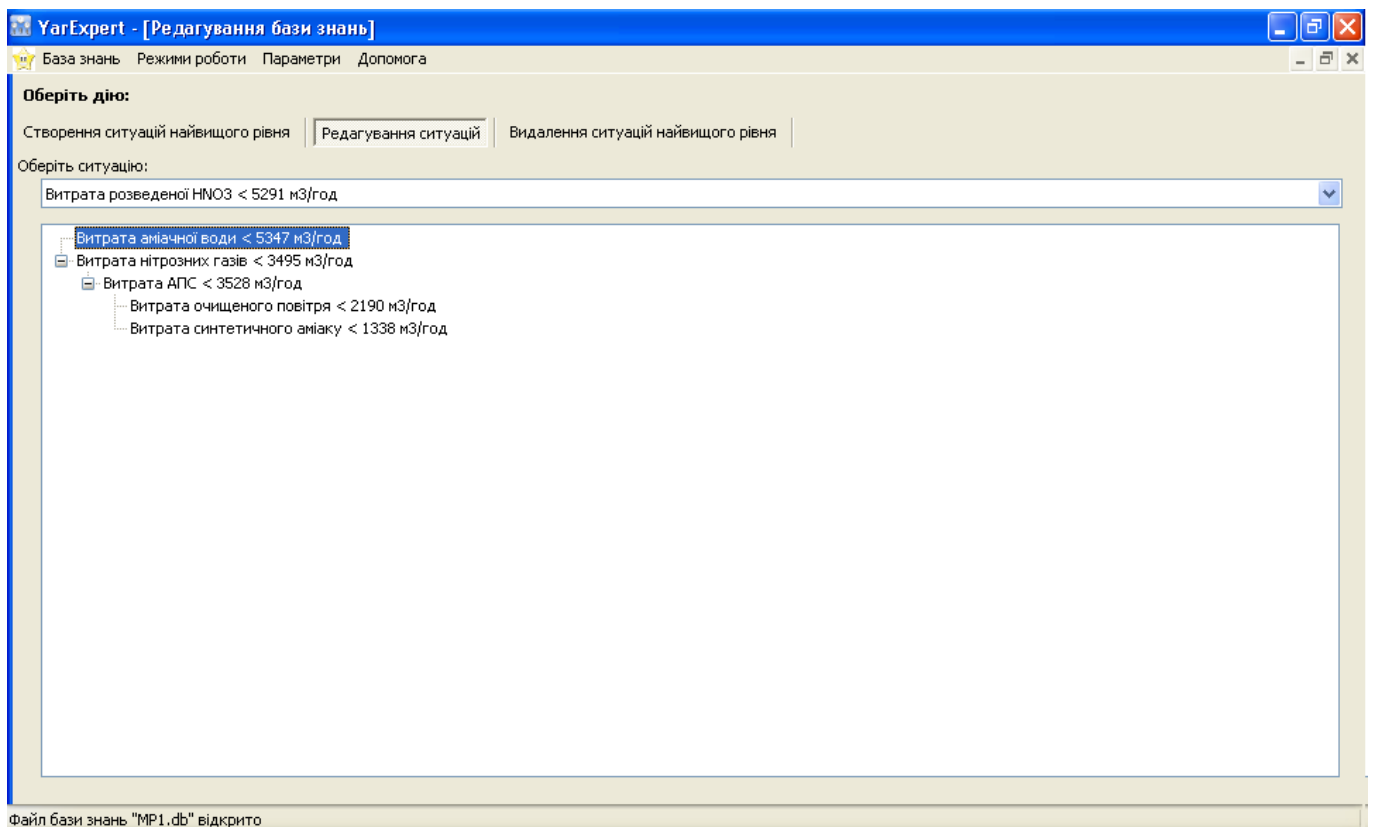


Рисунок 2.8. - Структура графу аварійності В.3. у програмі *YarExpert*

Реалізація діагностувальної функції графу виконується за наступним алгоритмом. На верхній командній панелі обирається команда «Режим роботи» і з випадаючого списку натискається режим «Діагностування». Із запропонованих аварій нульового рівня потрібно обрати таку, для якої потрібно провести діагностування, наприклад це ситуація «Концентрація розведеної  $HNO_3$  < 47,5 %». Після вибору кожної події слід натиснути кнопку «Вперед», яка знаходиться в нижній частині програмного вікна. Результати виконання діагностування зображені на рис. 2.9. – 2.11.

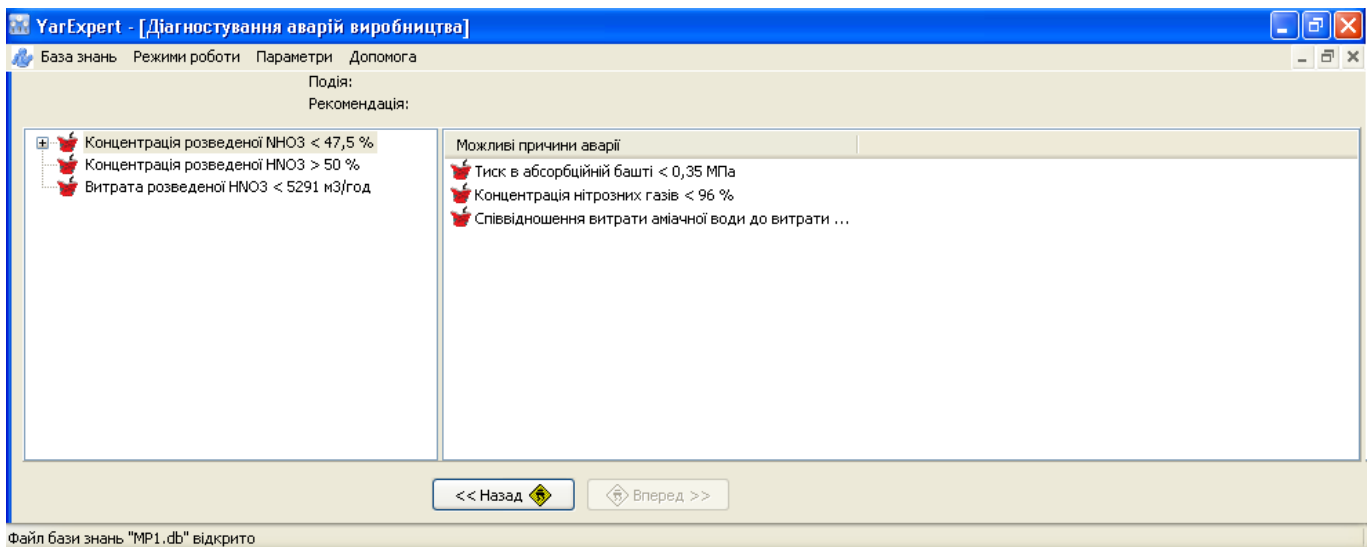


Рисунок 2.9. – Вибір події рівня R1 графу В.1.

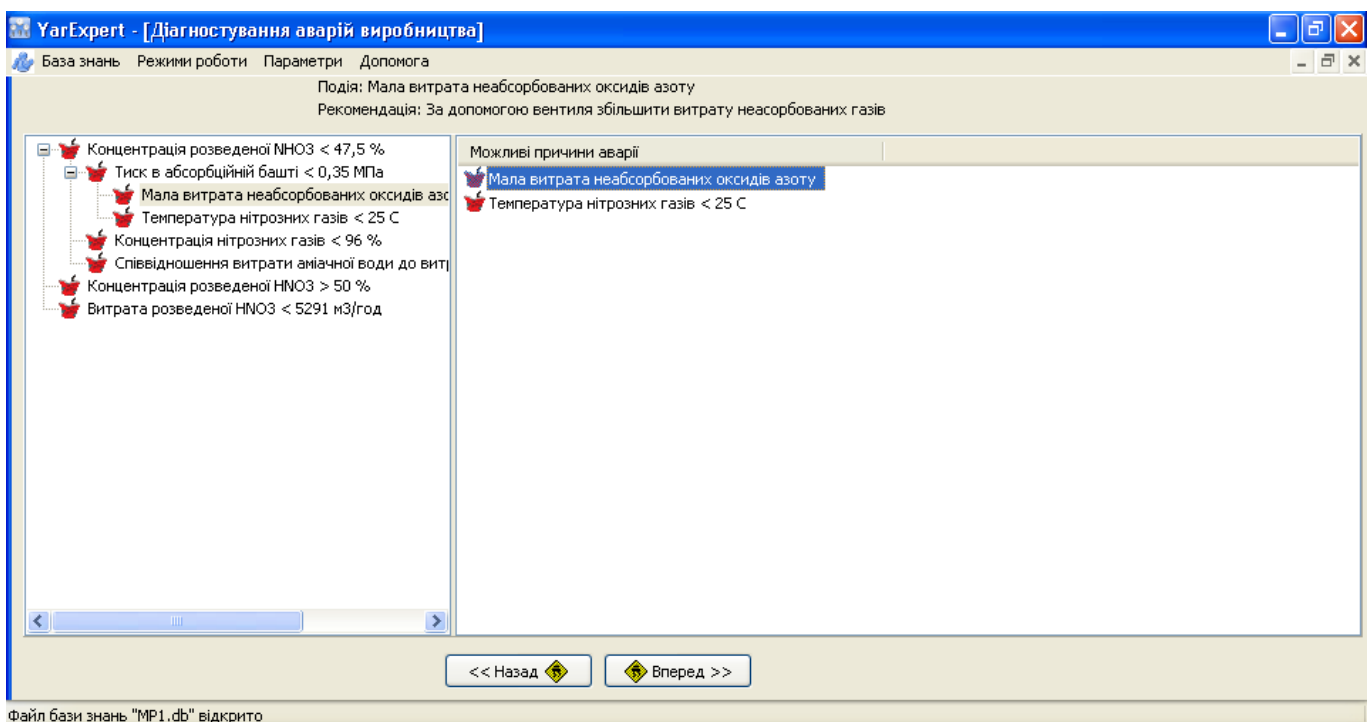


Рисунок 2.10. - Вибір події рівня R2 графу В.1.

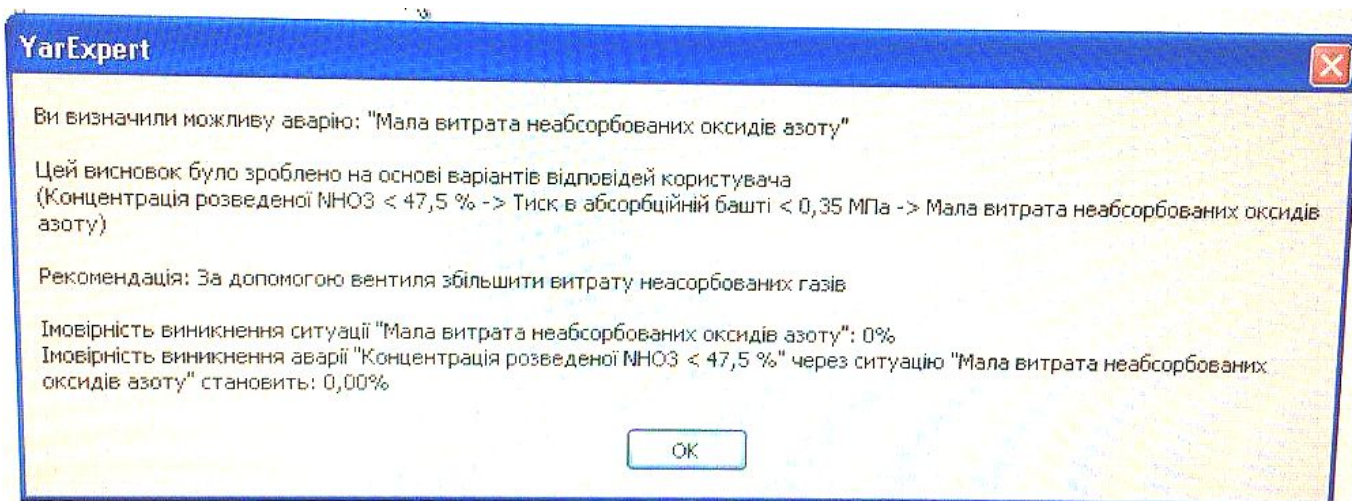


Рисунок 2.11. – Вигляд вікна рекомендацій для усунення аварійності

Таким чином, після виконання запропонованої рекомендації, причина аварійності буде усунена без ризику виникнення аварії.

### 2.3. Створення алгоритмів ситуаційного керування процесами виробництва розведеної азотної кислоти

Передумовою використання того чи іншого методу ситуаційного аналізу є створення алгоритму його застосування для досліджуваного виробництва. Розподіл визначених, в процесі аналізу технологічної системи виробництва розведеної азотної кислоти, несприятливих ситуацій на 3 режими функціонування підприємства [20] потребує розроблення окремих алгоритмів визначення поточного режиму роботи технологічної системи.

Перевірка нестационарності передбачає використання статистичних функцій та методів. Статистичні методи аналізу даних застосовуються практично в усіх областях діяльності людини. Їх використовують постійно, особливо коли потрібно отримати та пояснити будь-які припущення про групу (об'єктів чи суб'єктів) з деякою внутрішньою неоднорідністю.

Опис виду даних та, за потребою, механізму їх виникнення – початок будь-якого статистичного дослідження. Статистичні методи застосовуються у більшості наукових та прикладних робіт в області техніки та технології. Серед найбільш популярних знаходяться методи перевірки однорідності двох незалежних вибірок.

На теперішній час в більшості технічних та техніко-економічних дослідженнях застосовуються розроблені на початку XX століття статистичні методи. Пояснення цьому дуже просте, оскільки саме вони входять в матеріали розповсюджених підручників. Проте математична статистика бурно розвивалась в подальші 60 – 70 років і крім традиційних методів перевірки однорідності з'явилися сучасні методи.

### **2.3.1. Алгоритм визначення нестационарного режиму роботи технологічної системи**

Алгоритм визначення нестационарного режиму роботи технологічного процесу передбачає проведення статистичних розрахунків заснованих на двох статистичних методах. Перший для перевірки однорідності дисперсій двох вибірок, другий – перевірка однорідності математичних сподівань двох незалежних вибірок.

Пропонується до розгляду кількох методів перевірки нестационарності. В якості прикладу розглядається задача перевірки однорідності двох вибірок взятих з генеральної сукупності значень концентрації розведеної азотної кислоти.

Постановка задачі звучить так: існує дві вибірки  $x_1, x_2, \dots, x_{N1}$  та  $y_1, y_2, \dots, y_{N2}$  ( $N1=20, N2=22$ ), потрібно перевірити їх однорідність, тобто чи є різниця між цими вибірками. Якщо різниці немає, то для подальшого вивчення часто вибірки об'єднують.

Традиційний статистичний метод перевірки однорідності за критерієм Стюдента розглядається далі. Розраховуються середні арифметичні в кожній вибірці

$$\bar{x} = \frac{1}{N1} \sum_{i=1}^{i=1} x_i = \frac{1}{20} \sum_{i=1}^{i=1} x_i, \quad \bar{y} = \frac{1}{N2} \sum_{i=1}^{i=1} y_i = \frac{1}{22} \sum_{i=1}^{i=1} y_i,$$

потім вибіркві дисперсії

$$s_x^2 = \frac{1}{N1 - 1} \sum_{i=1}^{i=1} (x_i - \bar{x})^2 = \frac{1}{19} \sum_{i=1}^{i=1} (x_i - \bar{x})^2,$$
$$s_y^2 = \frac{1}{N2 - 1} \sum_{i=1}^{i=1} (y_i - \bar{y})^2 = \frac{1}{21} \sum_{i=1}^{i=1} (y_i - \bar{y})^2,$$

та статистику Стюдента  $t$ , на основі якої приймають рішення,



$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{(N1 - 1)s_x^2 + (N2 - 1)s_y^2}} \sqrt{\frac{N1 \cdot N2(N1 + N2 - 2)}{N1 + N2}} =$$

$$= \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{19s_x^2 + 21s_y^2}} \sqrt{\frac{20 \cdot 22(20 + 22 - 2)}{20 + 22}}$$

За заданим рівнем значущості  $\alpha = 0,05$  та числом степеня свободи  $N = 20 + 22 - 2$  знаходять критичне значення  $t_{кр}$  з таблиці розподілення Стюдента. Якщо  $|t| > t_{кр}$ , то гіпотезу однорідності відкидають, а коли  $|t| \leq t_{кр}$ , то гіпотезу приймають.

Для застосування традиційного методу перевірки однорідності, заснованого на використанні статистики  $t$  Стюдента, потрібно дотримуватись кільком умовам.

1) Імовірнісна модель створення даних. Щоб обґрунтовано застосовувати математико-статистичні методи насамперед потрібно побудувати та пояснити імовірнісну модель створення даних. За перевірки однорідності двох вибірок загальноприйнята модель в якій  $x_1, x_2, \dots, x_{20}$  розглядаються як результати 20 незалежних спостережень деякої випадкової величини  $X$  з функцією розподілу  $F(x)$ , невідомою особі яка проподить статистику, а  $y_1, y_2, \dots, y_{22}$  – як результати 22 незалежних спостережень випадкової величини  $Y$  з функцією розподілу  $G(x)$ , також невідомою статистику.

Якщо проведено  $(20 + 22)$  вимірів концентрації розведеної азотної кислоти, то описану модель можна застосовувати. Для подальшого дослідження описана імовірнісна модель двох вибірок приймається.

2) Поняття «однорідність», тобто відсутність відмінності, в термінах імовірнісної моделі може визначатися різними способами. Найвища степінь однорідності досягається коли обидві вибірки взяті з однієї і тієї ж генеральної сукупності, тобто справедлива нульова гіпотеза:

$$H_0: F(x) = G(x) \text{ за будь-яких } x.$$

Відсутність однорідності означає, що справедлива гіпотеза  $H_1$  (альтернативна)

$$H_1 : F(x_0) \neq G(x_0)$$

хоча б при одному значенні аргументу  $x_0$ . Якщо гіпотеза  $H_0$  прийнята, то вибірки можна називати однорідними та об'єднувати в одну, в іншому випадку – не можна.

Припустимо, що дві класичні умови застосування критерію Стюдента виконано.

а) результати спостережень розподілені нормально

$$F(x) = N(x; m_1, \sigma_1^2) \text{ та } G(x) = N(x; m_2, \sigma_2^2)$$

б) дисперсії в обох вибірках співпадають:

$$D(x) = \sigma_1^2 = D(y) = \sigma_2^2.$$

Коли умови а) та б) виконані, нормальне розподілення  $F(x)$  і  $G(x)$  відрізняються тільки математичними сподіваннями, виникає гіпотеза

$$H_0 : m_1 = m_2,$$

а альтернативна гіпотеза має вигляд  $H_1 : m_1 \neq m_2$ .

Якщо умови а) і б) виконані, то статистика  $t$  при справедливості  $H_0$  має розподіл Стюдента з степенями свободи  $N = 20 + 22 - 2$ . Тільки в цьому випадку традиційний метод гарно обґрунтований.

Результати досліджень не завжди можуть мати нормальний закон розподілу. Якщо вибірки не можуть називатись «нормальними», оцінку значущості відмінності середніх арифметичних значень проводять за критерієм Манна-Уїтні. Його застосовують таким чином: вибірки ранжують, причому ранги присвоюються зважаючи на значення ряду які є сукупністю двох вибірок разом. Ранги  $r_{ij}$  змінюються від 0 до  $N_1 + N_2$  (в нашому випадку  $20 + 22$ ). Після цього підсумовуються ранги для кожного ряду окремо:  $R_1$  та  $R_2$ . За цими даними рахують статистики  $U_1$ ,  $U_2$  та обирають з них більшу (дані для використання методу наведені у табл. 2.1). Таблиці припускають, що  $N_1 \leq N_2$ .

$$U_1 = N_1 \cdot N_2 + \frac{1}{2} N_1 (N_1 + 1) - R_1 = 20 \cdot 22 + \frac{20 \cdot 21}{2} - 273 = 377$$

$$U_2 = N_1 \cdot N_2 + \frac{1}{2} N_2 (N_2 + 1) - R_2 = 20 \cdot 22 + \frac{22 \cdot 23}{2} - 630 = 63$$

$$U = \max(U_1, U_2) = 377$$

Цей параметр порівнюють з табличним значенням  $U_{N_1, N_2, \alpha}$ .

Якщо виконується умова  $U \leq U_{N_1, N_2, \alpha}$  то значення середніх арифметичних приймаються як однакові.

$U_{N_1, N_2, \alpha} = U_{20, 22, 0, 05} = 112$ . Оскільки  $U \geq U_{20, 22, 0, 05}$ , то значення середніх арифметичних відрізняються.

Таблиця 2.1. – Дані для використання методу Манна - Уїтні

Вибірка 1: $N_1 = 20$		Вибірка 2: $N_2 = 22$	
Значення вибірки	Ранг	Значення вибірки	Ранг
48,16	3	48,84	27
48,06	2	49,13	34
48,41	12	48,74	21
48,04	1	48,86	29
48,47	13	49,37	39
48,4	11	49,6	41
48,31	8	49,23	38
48,18	4	49,08	32
48,25	5	48,52	14
48,3	7	49,16	36
49,19	37	48,78	23
48,82	26	48,59	17
48,65	18	48,53	15
48,85	28	49,14	35
48,94	30	48,81	25
48,79	24	49,62	42
48,39	10	48,75	22
48,28	6	49,11	33
48,35	9	48,98	31
48,68	19	49,55	40
		48,55	16
		48,73	20
Всього $R_1$	273	Всього $R_2$	630

Формули для  $U_1$ ,  $U_2$  застосовуються для малих вибірок, а для великих в якості статистики вибирають параметр  $T$

$$T = \frac{(U - \frac{1}{2} N_1 N_2)}{\sqrt{\frac{N_1 N_2 (N + 1)}{12}}}$$

де  $N = N_1 + N_2$ .

Схема алгоритму визначення нестационарності зображена на рис. 2.12.

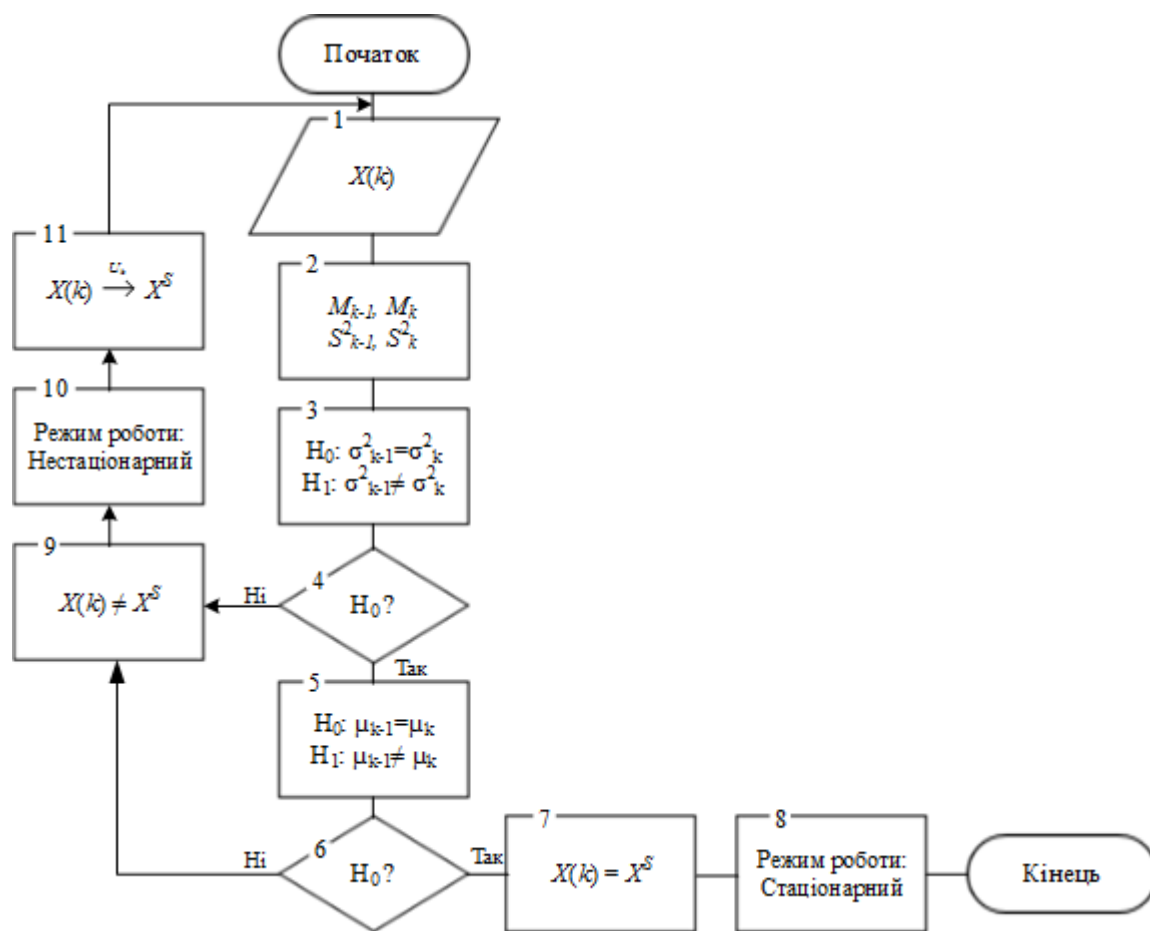


Рисунок 2.12. - Схема алгоритму для визначення нестационарних технологічних процесів

Блок 1. Алгоритм починає працювати після отримання вибірки даних у вигляді масиву  $X(k)$ .

Блок 2. Розрахунок дисперсії ( $S_{k-1}^2$ ,  $S_k^2$ ) та математичного сподівання ( $M_{k-1}$ ,  $M_k$ ) для поточної та попередньої вибірки. Якщо поточна вибірка перша, то для порівняння з нею використовується значення статистичних параметрів для статистичного ряду.

Блок 3. Обчислюються гіпотези  $H_0$  і  $H_1$ , порівнюючи дисперсії  $S_{k-1}^2$  та  $S_k^2$  за критерієм Фішера.

Блок 4. Перевіряються гіпотези  $H_0$  і  $H_1$ . Якщо приймається гіпотеза  $H_0$ , то перехід до блоку 5, якщо приймається гіпотеза  $H_1$ , то перехід до блоку 9.

Блок 5. Обчислюються гіпотези  $H_0$  і  $H_1$ , порівнюючи математичні сподівання  $M_{k-1}$  та  $M_k$  за критерієм Стьюдента.

Блок 6. Виконується перевірка гіпотез  $H_0$  і  $H_1$ . Якщо приймається гіпотеза  $H_0$ , то перехід до блоку 7, якщо приймається гіпотеза  $H_1$ , то перехід до блоку 9.

Блок 7. Поточний масив значень  $X(k)$  приймається як стаціонарний  $X^s$ .

Блок 8. Сповіщення про стаціонарний режим роботи технологічного процесу.

Блок 9. Поточний масив значень  $X(k)$  приймається як нестаціонарний.

Блок 10. Сповіщення про нестаціонарний режим роботи технологічного процесу.

Блок 11. Проведення заходів для переведення процесу у стаціонарний режим роботи.

Коли були прийняті заходи по усуненню нестаціонарності, алгоритм переходить у свій початковий стан.

### **2.3.2. Алгоритм визначення передаварійного режиму роботи виробництва**

Алгоритм для передаварійного режиму роботи виробництва працює за відмінним від нестаціонарного алгоритму принципом. Коли для перевірки нестаціонарності потрібні вибірки з відносно великою кількістю значень, то в передаварійному використанні таких же вибірок може призвести до швидкого виникнення аварії.

Запропоновано перевірку на передаварійність ситуації проводити таким чином: якщо 5-7 послідовних значень одного показника відповідають умовам передаварійності, то тільки тоді слід інформувати про передаварійний режим роботи технологічного процесу.

Схема алгоритму для визначення передаварійного режиму функціонування зображена на рис. 2.13.

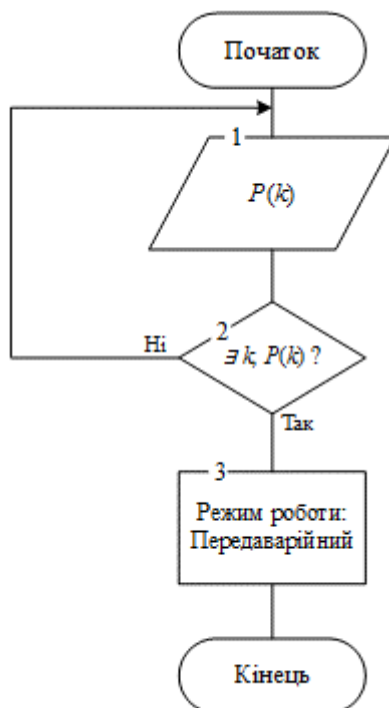


Рисунок 2.13. - Схема алгоритму для визначення передаварійного режиму роботи технологічних процесів

Перед використанням алгоритму виокремлені в розділі 2.1 події, що можуть спричинити передаварійний режим, внесені у масив  $P(k)$ . Яку роль відіграє масив  $P(k)$  описано далі.

Блок 1. Визначається масив  $P(k)$ . Приймається поточне значення  $k$ .

Блок 2. Проводиться перевірка відповідності ситуації  $k$  до масиву  $P(k)$ . Якщо  $k$  належить  $P(k)$ , то виконується перехід до наступного блоку 3. Якщо  $k$  не належить до  $P(k)$ , то алгоритм починається спочатку.

Блок 3. Сповіщення про передаварійний режим роботи.

### 2.3.3.Алгоритм визначення аварійного режиму роботи виробництва

Алгоритм для визначення аварійного режиму роботи виробництва за структурою за принципом роботи такий як алгоритм для визначення передаварійного режиму роботи. Проте на зміни ситуацій в сторону аварійності слід реагувати дуже швидко, порівняно з реакцією на ознаку передаварійності.

Таким чином перевірку на аварійність ситуації проводять так: якщо середнє значення певної кількості послідовних значень технологічного показника відповідають умовам аварійності, то тільки тоді слід інформувати про аварійний режим роботи технологічного процесу. Зовсім інший принцип роботи з подіями, пов'язаними з пошкодженням обладнання або приладів. В цьому випадку місце аварії повністю ізолюється до моменту ремонту та ліквідації пошкодженого апарату.

Схема алгоритму для визначення аварійного режиму функціонування зображена на рис. 2.14.

Перед використанням алгоритму виокремлені в розділі 2.1 події, що можуть спричинити аварійний режим, внесені у масив  $A(k)$ .

Блок 1. Оголошують масив можливих аварійних ситуацій  $A(k)$ . Приймається значення  $k$  – номер аварійної ситуації, що дорівнює 1.

Блок 2. Проводиться перевірка відповідності ситуації  $k$  до масиву  $A(k)$ . Якщо  $k$  – та ситуація належить масиву  $A(k)$ , то виконується перехід до наступного блоку 4. В протилежному випадку виконується блок 1.

Блок 3. Збільшення  $k := k + 1$ .

Блок 4. Сповіщення про аварійний режим роботи.

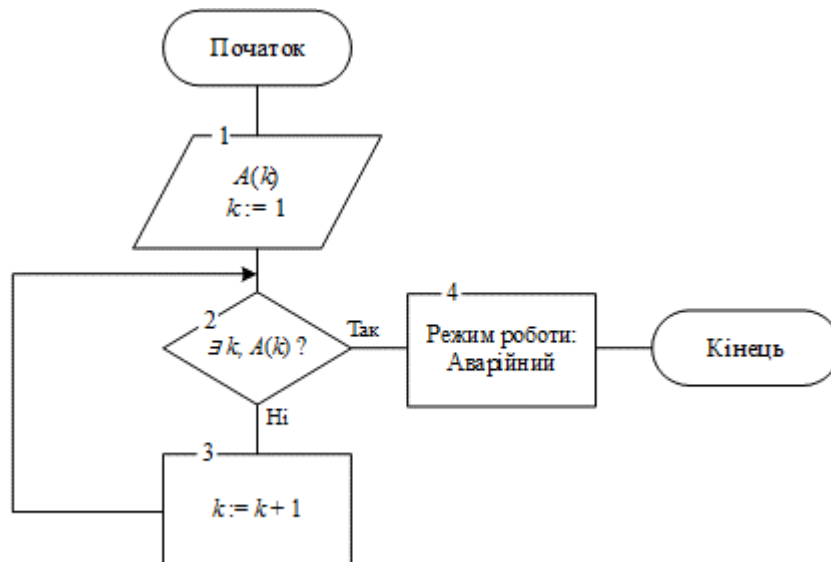


Рисунок 2.14. - Схема алгоритму для визначення аварійного режиму роботи технологічних процесів

## 2.4. Нечітка логіка як приклад ситуаційного аналізу

Збої технічних засобів автоматизації є одними з причин виникнення аварійних ситуацій в системі керування. В такому випадку нечітка система може виступати як реалізатор ситуаційного аналізу.

Задачу ситуаційного аналізу до процесу виробництва розведеної азотної кислоти можна вирішити використовуючи знання фахівців, компетентних у цій сфері. Системи керування, які здатні вирішити та реалізувати такі задачі, називають системами штучного інтелекту (ШІ). Системи штучного інтелекту не обов'язково повинні існувати окремо. Вони можуть існувати як складова частина систем керування складними технологічними системами. Сучасними системами ШІ є експертні та нечіткі системи, нейронні мережі та їх комбінації.

Важливою складовою систем ШІ є база знань (БЗ). Щоб сформувати БЗ потрібно використати навички роботи експертів та методи формалізації отриманих знань.

В основі виробництва розведеної азотної кислоти лежить безпосередньо абсорбція нітрозних газів аміачною водою, в результаті чого утворюється потрібна продукційна  $\text{HNO}_3$ , а також прилеглий процес охолодження нітрозних газів перед подачею у абсорбційну колону.

Основними факторами, що впливають на виробництво розведеної  $\text{HNO}_3$ , є: температура та витрата нітрозних газів на вході в абсорбційну башту, витрата аміачної води, властивості каталізатора у абсорбційній башті, температура у холодильниках, концентрація  $\text{NO}_2$  та  $\text{NO}$  у нітрозних газах.

На рис. 2.15 зображено структурно - параметричну схему процесу. Для забезпечення максимального виходу цільового продукту і мінімальної кількості побічних показників потрібно дотримуватись наступних значень показників:

$$F_{\text{ГГ}} - 3495..3900 \text{ м}^3/\text{Год}; T_{\text{ГГ}} - 188..290 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$T_{\text{НГ1}} - 25..47 \text{ }^\circ\text{C}; P_{\text{А}} - 0,35..0,73 \text{ МПа};$$

$$C_{\text{РАКЗ}} - 47,5...50\% \text{ HNO}_3.$$



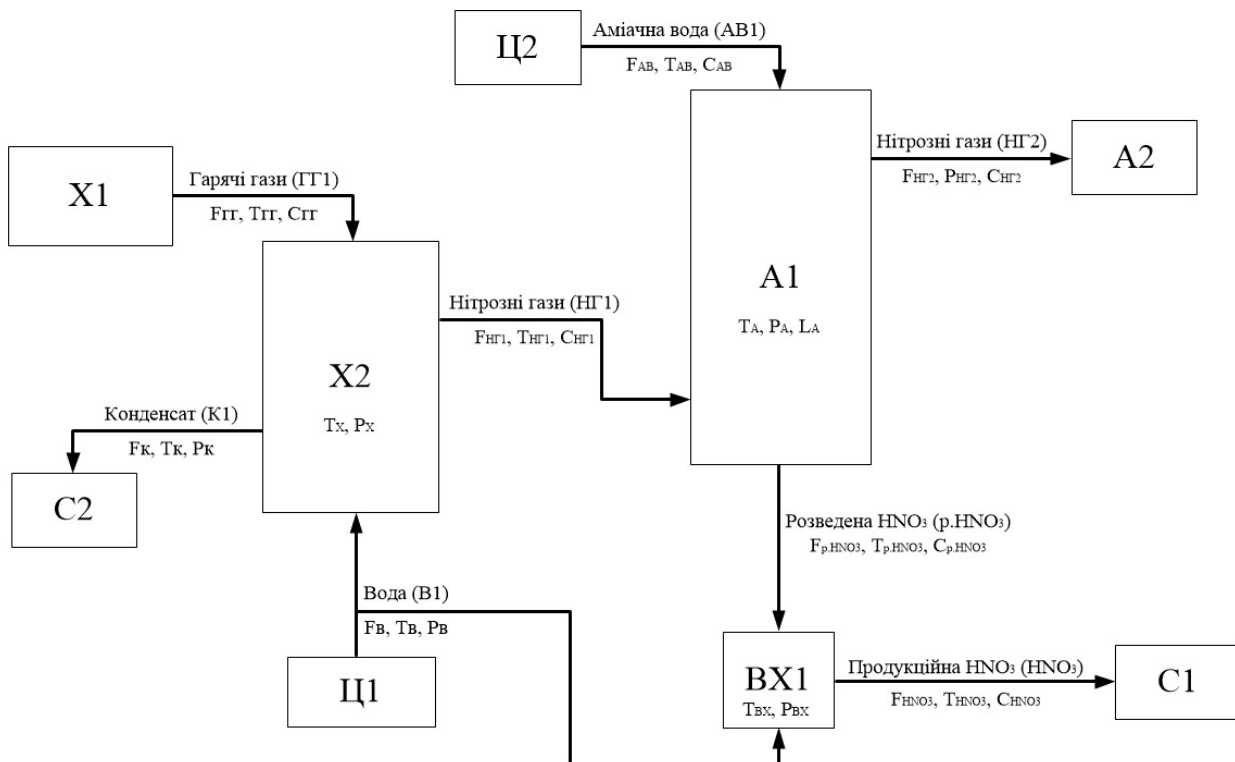


Рисунок 2.15. - Структурно-параметрична схема процесу охолодження та абсорбції нітрозних газів  
X1, X2 – холодильники; A1, A2 – абсорбери; BX1 – водяний холодильник; C1, C2 – склади;  
Ц1, Ц2 – цистерни.

Щоб створити нечітку систему керування обрано керування співвідношенням витрати нітрозних газів та аміачної води на вході в абсорбційну башту. Керувальним впливом є концентрація розведеної азотної кислоти на виході з абсорбційної башти. Фрагмент схеми автоматизації з головним контуром керування зображений на рис 2.16.

Для керування визначимо дві лінгвістичні змінні:  $F_{AB/NG}$  – співвідношення витрат аміачної води та нітрозних газів відповідно,  $C_{HNO_3}$  – концентрація розведеної азотної кислоти. Для лінгвістичних змінних визначено універсуми та складено терми. Сформуємо їх.

Лінгвістична змінна: <Співвідношення витрат;

терми: велике, нормальне, низьке;

універсум:  $0,71 \text{ м}^3/\text{год} < F_{AB/NG} < 0,714 \text{ м}^3/\text{год} >$ .

Лінгвістична змінна: <Концентрація  $HNO_3$ ;

терми: менше малої, мала, середня, велика, більша великої;

універсум:  $47,5 \% < C_{HNO_3} < 50 \% >$ .

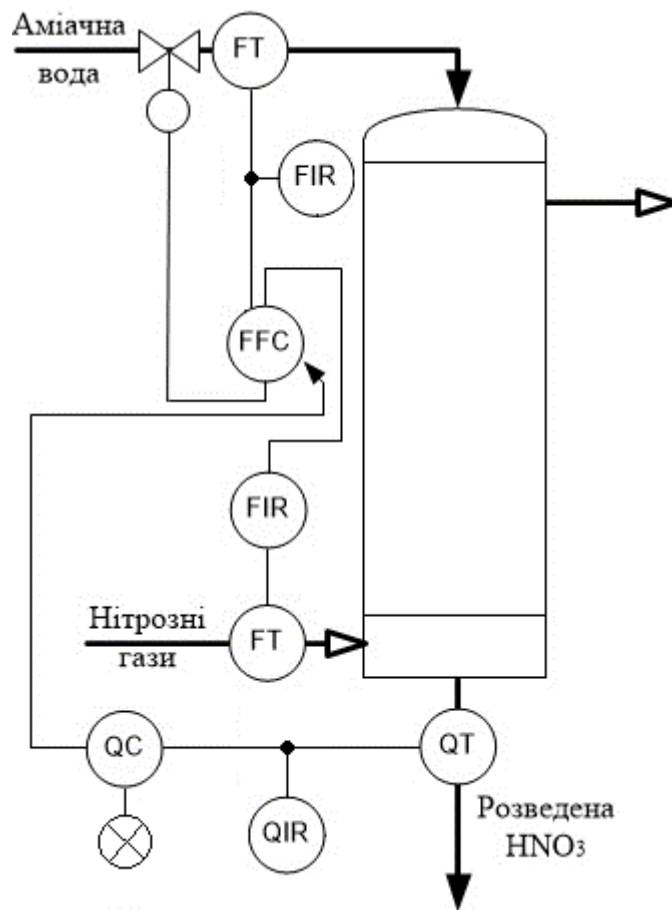


Рисунок 2.16. - Контур керування концентрації розведеної  $\text{HNO}_3$

Сформуємо функції належності для лінгвістичних змінних «Концентрація  $\text{HNO}_3$ » з термами: «Мала», «Середня», «Велика» та «Співвідношення витрат» з термами: «низьке», «нормальне», «велике».

Розрахунки та побудова графіків проводиться у середовищі *MatLab*. На рис. 2.17. зображено схему нечіткої автоматизованої системи керування (НчАСК).

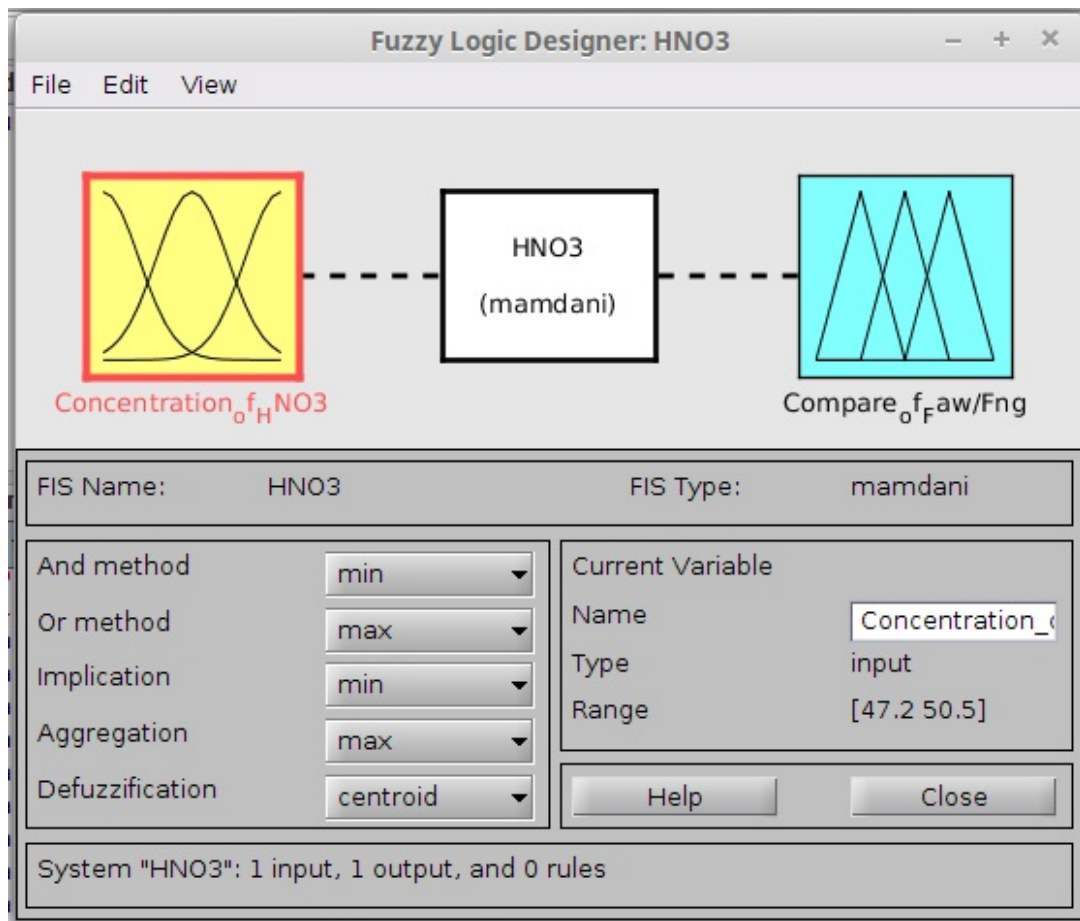


Рисунок 2.17. - Схема НчАСК у середовищі *MatLab*

Реалізація НчАСК засобами програми *MatLab* подано у вигляді наступних вікон. Редактор функцій належності для вхідної змінної концентрації розведеної азотної кислоти показано на рис. 2.18., а функції належності для керувальної змінної співвідношення витрат аміачної води до нітрозних газів на рис. 2.19.

Сформульовано нечіткі правила керування (рис. 2.20.).

- ЯКЩО [Концентрація  $\text{HNO}_3$  «Мала»] ТО [Співвідношення витрат «Низьке»];
- ЯКЩО [Концентрація  $\text{HNO}_3$  «Середня»] ТО [Співвідношення витрат «Нормальне»];
- ЯКЩО [Концентрація  $\text{HNO}_3$  «Велика»] ТО [Співвідношення витрат «Велике»].
- ЯКЩО [Концентрація  $\text{HNO}_3$  «Менше малої»] АБО [Концентрація  $\text{HNO}_3$  «Більше великої»] ТО [Брак продукції]

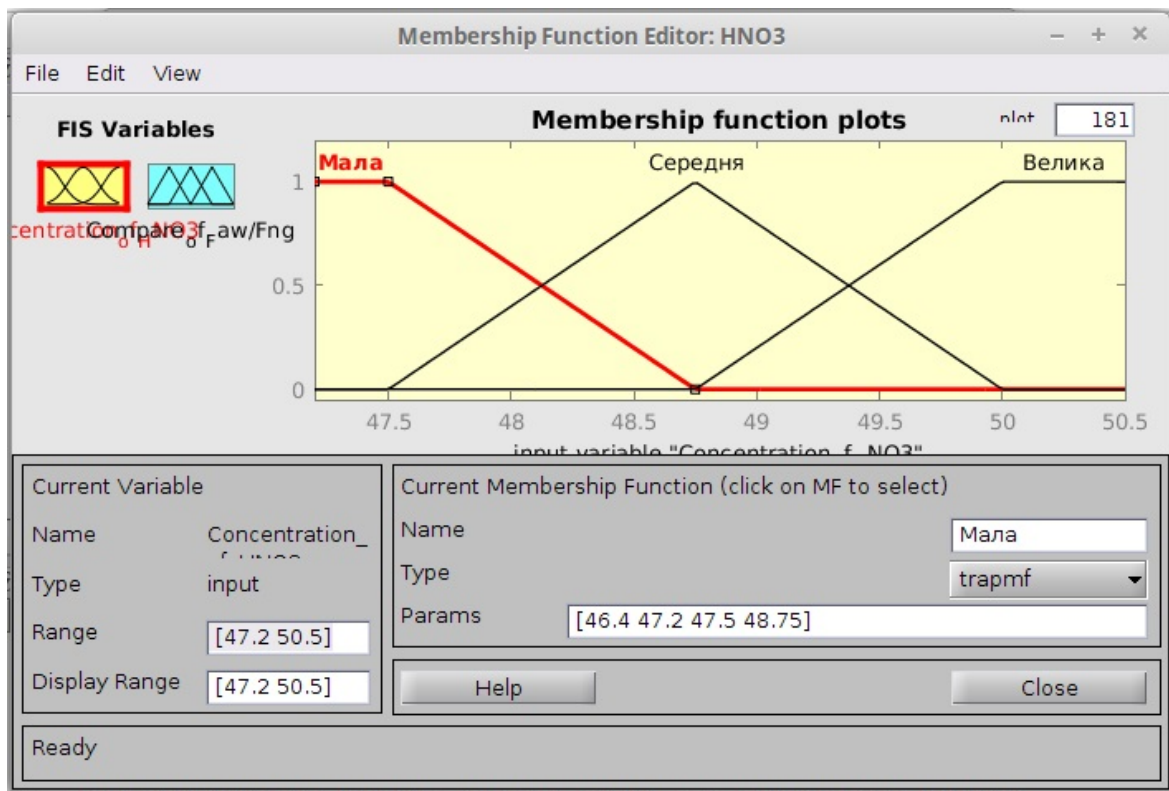


Рисунок 2.18. - Вікно редактора функцій належності для вхідної змінної

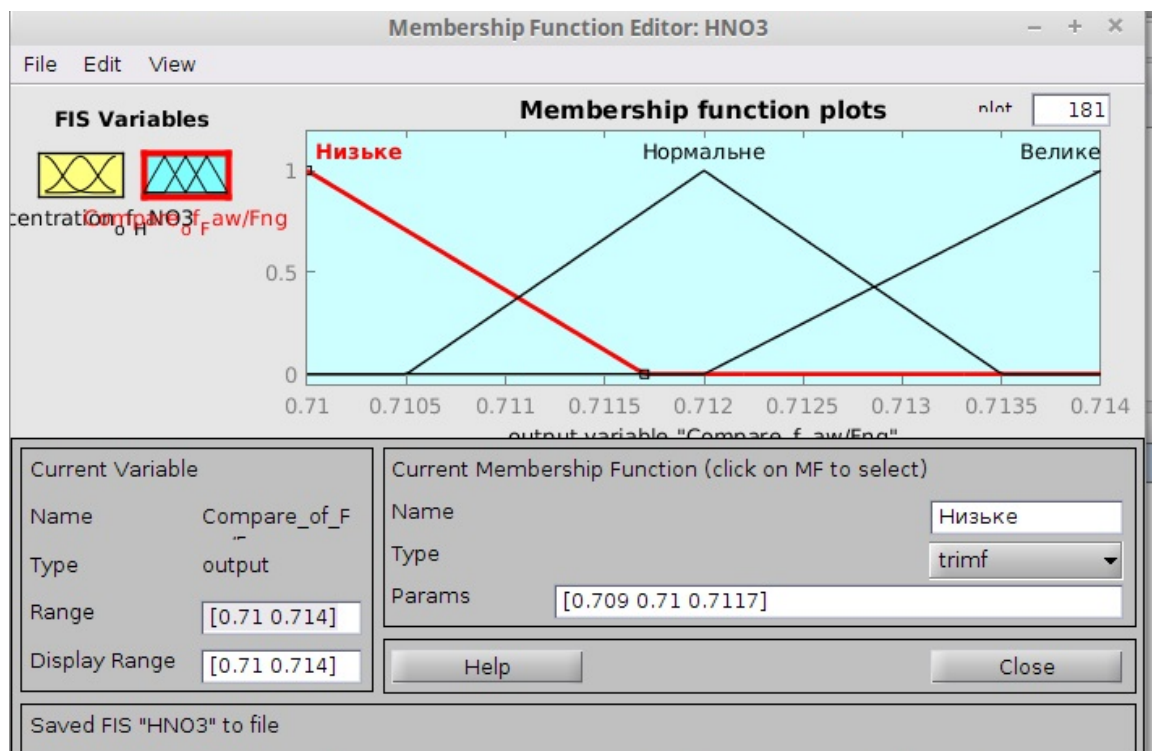


Рисунок 2.19. - Вікно редактора функцій належності для вихідної змінної

Нечітка математична модель для обраного процесу припускає, що Концентрація  $\text{HNO}_3$  на виході в абсорбційної башти  $C_{\text{HNO}_3} = 49\%$ .

Розраховується ступінь входження значення  $C_{\text{HNO}_3}$  у кожний терм,  $\mu(49)$ :

- для терму «мала» ступінь входження  $\mu(49)=0$ ;
- для терму «середня» ступінь входження  $\mu(49)=0,8$ ;
- для терму «велика» ступінь входження  $\mu(49)=0,2$ ;

Урахування ступенів входження у ліві частини правил потребує модифікації правих частин правил. Для цього використовується метод об'єднання та метод підсумовування з модифікацією правил з методом добутку і мінімуму.

Щоб переглянути результати використання правил продукції потрібно скористатись опцією View, результатом якої буде рис. 2.21.

Поверхня нечіткого висновку для розробленої НчАСК процесу абсорбції нітрозних газів аміачною водою має вигляд (рис. 2.22).

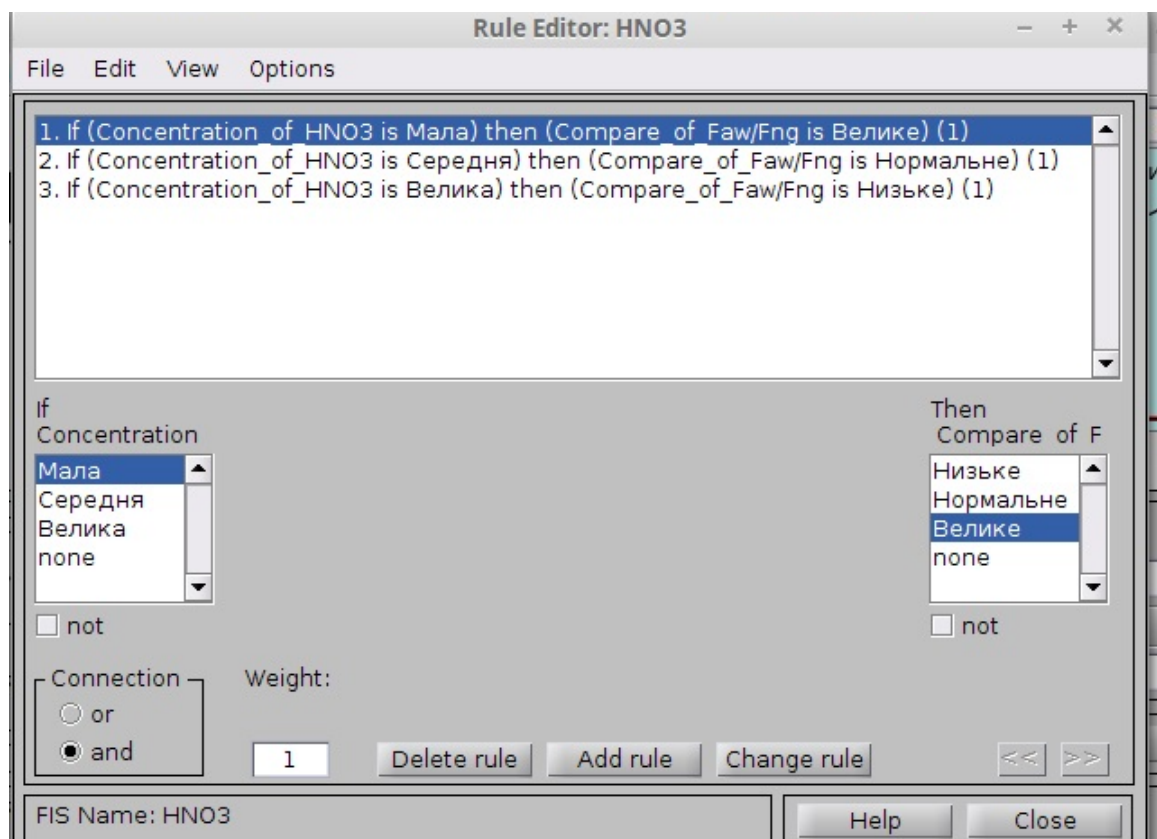


Рисунок 2.20. - Вікно редактора правил продукції після їх визначення

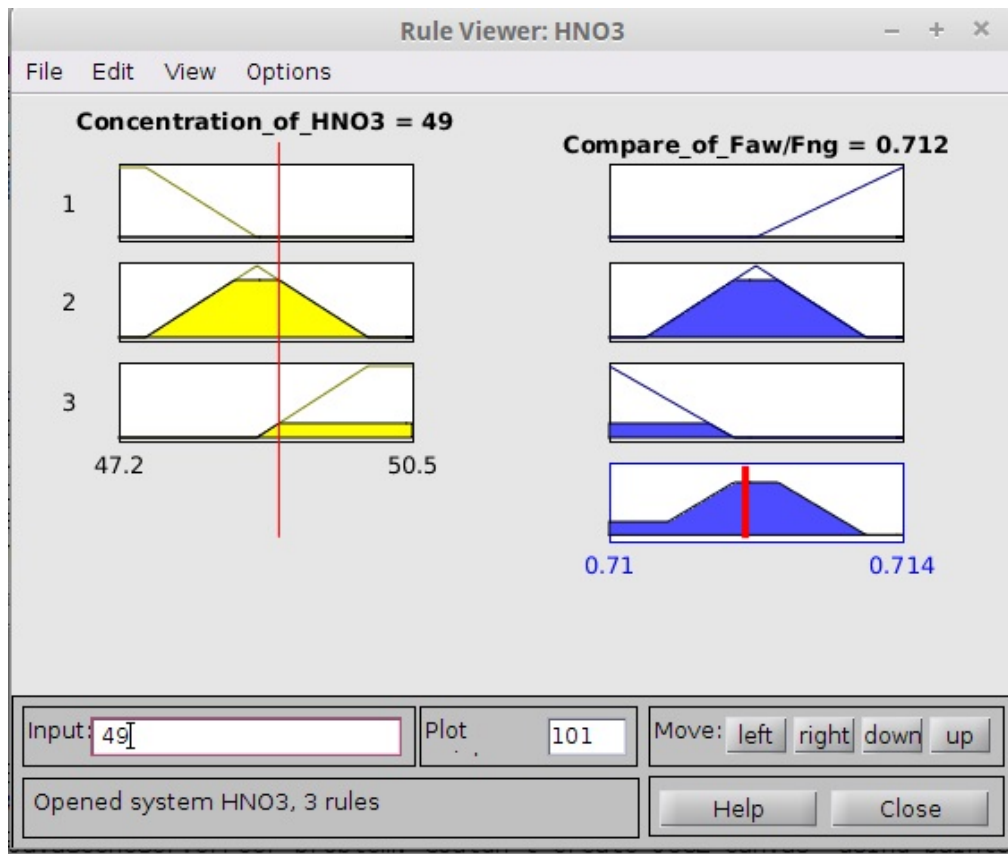


Рисунок 2.21. - Вікно перегляду результату використання правил продукції

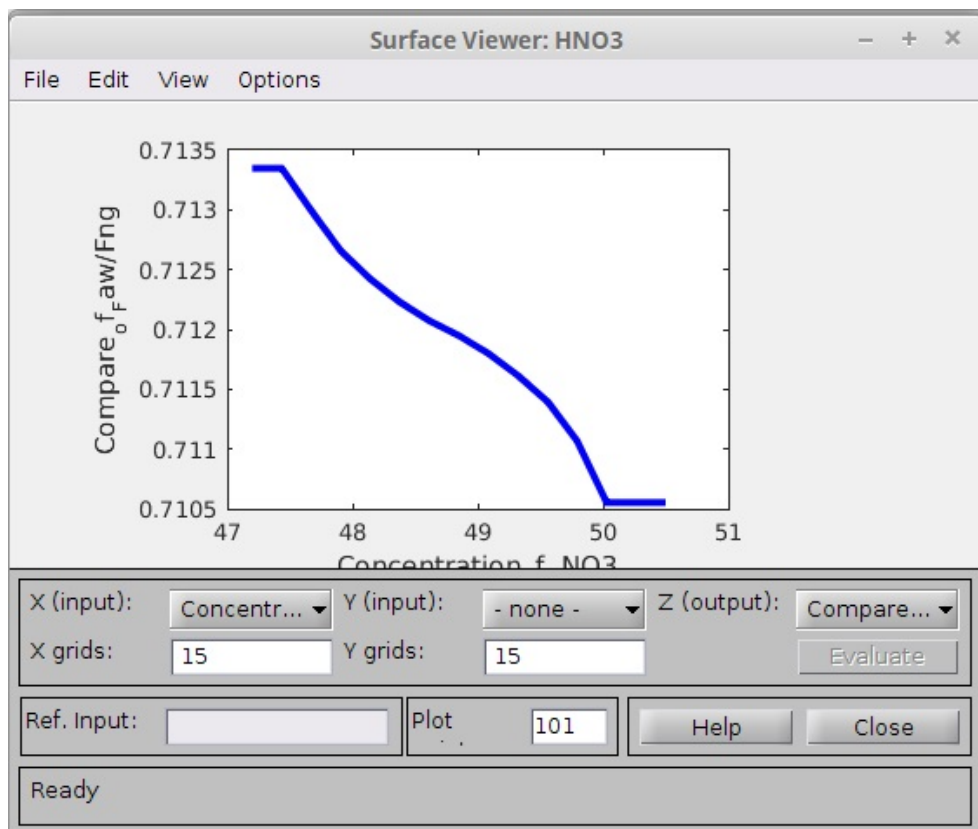


Рисунок 2.22. - Вікно перегляду поверхні нечіткого висновку

## **Висновки до розділу 2**

У даному розділі магістерської дисертації проведено аналіз технологічної системи виробництва розведеної азотної кислоти, на основі якої виокремлено несприятливі ситуації для підприємства. Окрім того ці ситуації розподілено на 3 режими функціонування виробничих процесів: нестационарний, передаварійний, аварійний. Для кожного з режимів визначено причини їх виникнення. Для аварійних ситуацій розроблені графи аварійних ситуацій діагностувального типу та розрахована імовірність виникнення кожної події, яка може привести до аварійної ситуації. Також створено алгоритми для визначення кожного з режимів роботи виробничих процесів. Застосовано нечітке програмування результатом якого є створення нечіткого керування процесом абсорбції нітрозних газів.

Таким чином розроблені в цьому розділі дії будуть слугувати безаварійній роботі підприємства за рахунок дотримання певних правил та вимог до роботи персоналу. Дерева причин аварійності дозволять швидко визначити джерело виникнення збою у функціонуванні процесу абсорбції нітрозних газів аміачною водою чи у процесі приготування нітрозних газів.

## **3. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАДАЧ АНАЛІЗУ СИТУАЦІЙ НА ВИРОБНИЦТВІ РОЗВЕДЕНОЇ АЗОТНОЇ КИСЛОТИ**

Серед підприємств які займаються великогабаритними виробництвами знаходиться і виробництво розведеної азотної кислоти. Відомо що чим більша кількість апаратів та потоків у технологічному процесі, тим важче контролювати та місцево спостерігати за технологічними показниками.

Оскільки оператори не володіють достатньою обізнаністю у області виробництва, запропоновано задля зручності та спрощення роботи працівників розробити прикладну програму, алгоритм якої спрямований на візуалізацію зміни значень технологічних показників та їх подальшим прогнозуванням.



До кожного аварійно чутливого та якісно важливого параметру будуть зображені допустимі межі значень. По періодичних вимірюваннях обраних параметрів буде будуватись графік за яким оператор зможе спостерігати на стаціонарність процесів. Якщо якийсь з параметрів набуде тенденції нестационарності, оператор виконає інструкції щодо налагодження стаціонарності режиму.

У результаті дослідження особливостей та властивостей технологічних процесів та виробництва розведеної азотної кислоти в цілому, для візуалізації та спостереження за значеннями вимірюваних параметрів виробництва запропоновано використовувати прикладну програму у середовищі *Microsoft Excel*. Програма має функції генерування випадкових величин вимірюваних виробничих параметрів; проведення статистичних обчислень таких параметрів як концентрація розведеної азотної кислоти, концентрація нітрозних газів, витрата розведеної азотної кислоти; візуалізація стану технологічних параметрів у вигляді графіків з поступовою побудовою точок.

При перевірці стаціонарності процесу за концентрацією аміаку ( $NH_3$ ) запропоновано записувати вимірювання періодично з інтервалом у півгодини. Інтервал був обраним таким на основі аналізу інерційності апаратів ХТС і при експериментальних дослідженнях може бути корегованим. Для перевірки нестационарності за концентрацією протягом доби можна отримати вибірку близько 60 значень. Спостереженню підлягають також й інші технологічні параметри, які достатньо повно описують перебіг технологічних процесів. Це, зокрема, і дані від вимірювачів концентрації нітрозних газів та витрати продукційної кислоти.

### **3.1. Принципи побудови програмного засобу для аналізу ситуацій**

Середовище *Microsoft Excel* є досить вживаною програмою на виробництвах різної спеціалізації. В *Excel* все реалізовано за допомогою функцій в комірках. За цими формулами виконуються розрахунки та інші дії зданими на листі. Формула завжди починається зі знаку дорівнює (=), після якого можна вводити формули.



Свого широкого використання вона набула через наявність великої кількості функцій різного виду, а саме:

- математичні та тригонометричні;
- статистичні;
- інженерні;
- фінансові;
- логічні;
- текстові, тощо.

В даній роботі *Excel* використовується саме через широкий вибір математичних, статистичних та логічних функцій. Цими формулами розраховуються статистичні параметри та побудова логічної структури виконання функцій. Для дослідження нестационарних процесів, вбудовані функції *Excel* є каталізаторами для отримання розрахунків.

Якщо у виробничих умовах спостерігаються не випадкові зміни показників у часі, то такий технологічний режим є нестационарний. А стационарним навпаки називається такий випадковий процес, для якого статистичні властивості залишаються незмінними в часі.

У роботі використане імітування числових послідовностей накладанням нестационарної складової процесу на стационарну за формулою:

$$X_i = X_{stac,i} + X_{n\_stac,i}, \quad (3.1.)$$

де  $X_i$ ,  $X_{stac,i}$ ,  $X_{n\_stac,i}$  - загальне значення змінної, значення стационарної складової, значення нестационарної складової генерованого ряду на  $i$ -у кроці.

Перевірку стационарності виконують, користуючись перевіркою статистичних гіпотез за критеріями, описаних у розділі 2.3.

Реалізація програми для робочого місця оператора-технолога виконується за етапами, описаними далі.

Програма розділена на 3 листи, на яких виконуються абсолютно різні операції. Лист 1 називається «Графіки» (рис. 3.1.), він відповідає за візуалізацію процесів. На листі 2 під назвою «Дані» (рис. 3.2.) генеруються числові ряди по 3-х технологічних

параметрах, для яких обчислюються числові характеристики для обраних параметрів, Лист 3 «Операції» (рис. 3.3.) відповідає за перевірку статистичних гіпотез.

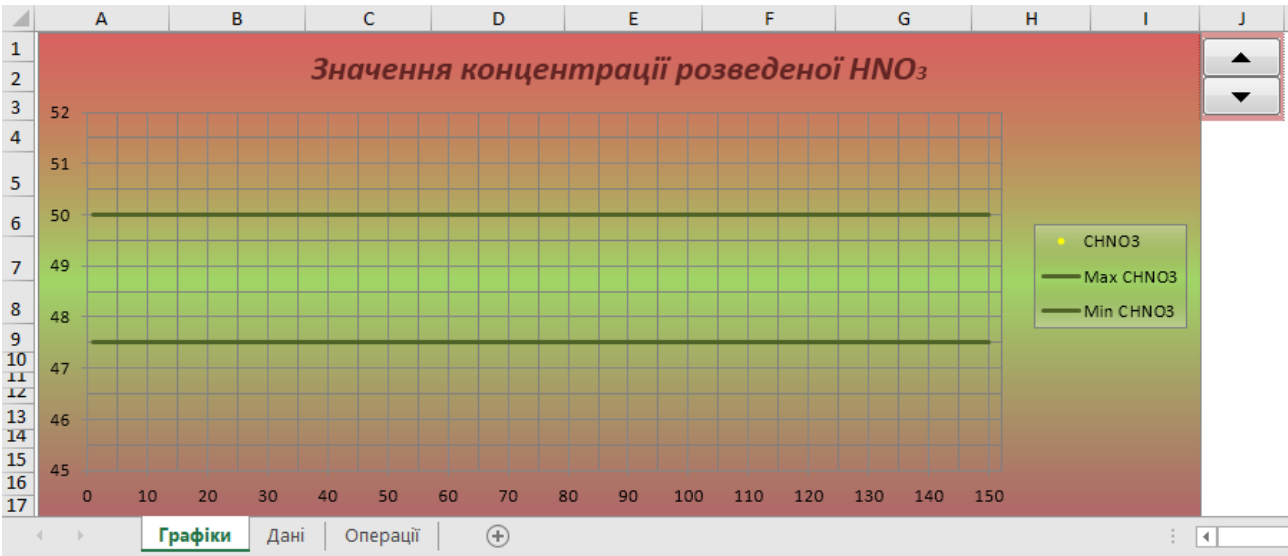


Рисунок 3.1. - Вигляд листа 1 «Графіки»

#	ВВ CHNO3	max BB, м3/год	50	0	#	ВВ CHг	max BB, %	98	0	#	ВВ FHNO3	max BB, м3/год	6502	0		
1	0	min BB, м3/год	47,5		1	0	min BB, %	95		1	0	min BB, м3/год	5291			
2	0				2	0				2	0				t1	1-20
3	0	Сер.знач t1	0,00		3	0	Сер.знач t1	0		3	0	Сер.знач t1	0		t1_2	21-26
4	0	Сер.знач t2	0,00		4	0	Сер.знач t2	0		4	0	Сер.знач t2	0		t2	27-47
5	0	Сер.знач t3	0,00		5	0	Сер.знач t3	0		5	0	Сер.знач t3	0		t2_1	48-54
6	0	Сер.знач t4	0,00		6	0	Сер.знач t4	0		6	0	Сер.знач t4	0		t3	55-72
7	0	Сер.знач t5	0,00		7	0	Сер.знач t5	0		7	0	Сер.знач t5	0		t3_1	73-81
8	0	Сер.знач t6	0,00		8	0	Сер.знач t6	0		8	0	Сер.знач t6	0		t4	82-103
9	0				9	0				9	0				t4_1	104-109
10	0	Дисп t1	0		10	0	Дисп t1	0		10	0	Дисп t1	0		t5	110-128
11	0	Дисп t2	0		11	0	Дисп t2	0		11	0	Дисп t2	0		t5_1	129-134
12	0	Дисп t3	0		12	0	Дисп t3	0		12	0	Дисп t3	0		t6	135-150
13	0	Дисп t4	0		13	0	Дисп t4	0		13	0	Дисп t4	0			
14	0	Дисп t5	0		14	0	Дисп t5	0		14	0	Дисп t5	0			
15	0	Дисп t6	0		15	0	Дисп t6	0		15	0	Дисп t6	0			
16	0				16	0				16	0					

Рисунок 3.2. - Вигляд листа 2 «Дані»

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1		Графік 1. Концентрація розведеної HNO <sub>3</sub>							Графік 2. Концентрація нітрозних газів					
2		t1	t2	t3	t4	t5	t6		t1	t2	t3	t4	t5	t6
3	Математичне сподівання, $\mu$	48,68	49,07	48,73	48,49	49,02	48,72		97,29104	96,7103896	96,8919031	96,6081846	97,1520386	97,215325
4	Дисперсія, $\sigma^2$	0,122084	0,11121766	0,59205554	0,16498487	0,08259805	0,11084243		0,073595	0,1020944	0,41247817	0,08273189	0,04593847	0,0354594
5	Середнє квадратичне відхилення, $\sigma$	0,349405	0,33349312	0,76945145	0,4061833	0,28739876	0,33293007		0,271284	0,31952214	0,64224463	0,28763151	0,21433262	0,1883067
6	Розмір вибірки $N_x(N_y)$	20	21	18	22	19	16		20	21	18	22	19	16
7	Рівень значущості $\alpha$	0,05							0,05					
8	Степінь вільності $k=N_x+N_y-2$		39	37	38	39	33			39	37	38	39	33
9														
10	Розрахункове значення крит. Фішера, F		0,91099526	5,3233948	3,58854439	0,50064014	1,34194974			0,84902956	4,04016465	4,98572186	1,80092802	1,2955223
	Табличне													

Рисунок 3.3. - Вигляд листа 3 «Операції»

Для виведення кожного наступного значення параметру потрібно скористатись лічильником у правому кутку біля графіка натиснувши на його верхню стрілку.

В програмі використовуються такі вбудовані функції:

СЛЧИС() – повертає рівномірно розподілене випадкове число в діапазоні 0..1. Функція використовується для комірок: лист «Дані» B2:B151, H2:H151 та N2:N151.

ЗНАЧЕН(текст) – перетворює рядок тексту, що відображає число в число. Функція використовується для комірок: лист «Дані» B2:B151, H2:H151 та N2:N151.

ЕСЛИ(умова;дія якщо ІСТИНА;дія якщо ЛОЖЬ) – виконує логічні порівняння значень та очікуваних результатів. Функція використовується для комірок: лист «Графіки» M5:M8, M22:M25, M39:M42; лист «Дані» B2:B151, H2:H151 та N2:N151, D4:D9, D11:D16, D18:D23, J4: J9, J11: J16, J18: J23, P4:P9, P11:P16, P18:P23; лист «Операції» C12:G12, J12:N12, Q12:U12, C16:G16, J16:N16, Q16:U16.

И(умова1;умова2;...) – допомагає визначити чи всі умови, що перевіряються є ІСТИНА. Функція використовується для комірок: лист «Графіки» M5:M8, M22:M25, M39:M41.

СРЗНАЧ(число1;число2) – повертає середнє арифметичне аргументів. Функція використовується для комірок: лист «Дані» D4:D9, J4: J9, P4:P9; лист «Операції» B3:G3, I3:N3, P3:U3.

ДИСП.В(число1;число2) – оцінює дисперсію за обраною вибіркою. Функція використовується для комірок: лист «Дані» D11:D16, J11: J16, P11:P16; лист «Операції» B4:G4, I4:N4, P4:U4.

КОРЕНЬ(число) – повертає додатне значення квадратного кореня. Функція використовується для комірок: лист «Дані» D18:D23, J18: J23, P18:P23; лист «Операції» B5:G5, I5:N5, P5:U5.

СЧЁТЗ(значення1;значення2;..) – підраховує кількість заповнених комірок в діапазоні. Функція використовується для комірок: лист «Операції» B6:G6, I6:N6, P6:U6.

ФРАСПОБР(імовірність;ступінь\_свободи1;ступінь\_свободи2) – повертає значення, обернене  $F$  розподілу імовірностей. Функція використовується для комірок: лист «Операції» C11:G11, J11:N11, Q11:U11.

ABS(число) – повертає модуль аргументу. Функція використовується для комірок: лист «Операції» C14:G14, J14:N14, Q14:U14.

СТЬЮДРАСПОБР(імовірність;степені\_свободи) – повертає двосторонній обернений  $t$ -розподіл Стьюдента. Функція використовується для комірок: лист «Операції» C15:G15, J15:N15, Q15:U15.

Для генерування даних потрібно вписати формулу  $=2*СЛЧИС()+48$  в комірку B2 на листі «Дані», та протягнути до комірки B151.

### 3.2. Результати роботи програми

Для технологічної змінної концентрації розведеної  $HNO_3$  на рис. 3.4.-3.7. зображено результати використання програми реалізації задач аналізу ситуацій для виробництва розведеної азотної кислоти.

Інформування про поточний режим функціонування виконується після виведення на графік кількох значень, для яких виконані статистичні розрухунки. Сповіднення про стаціонарний режим функціонування технологічної системи зображено на рис. 3.4.

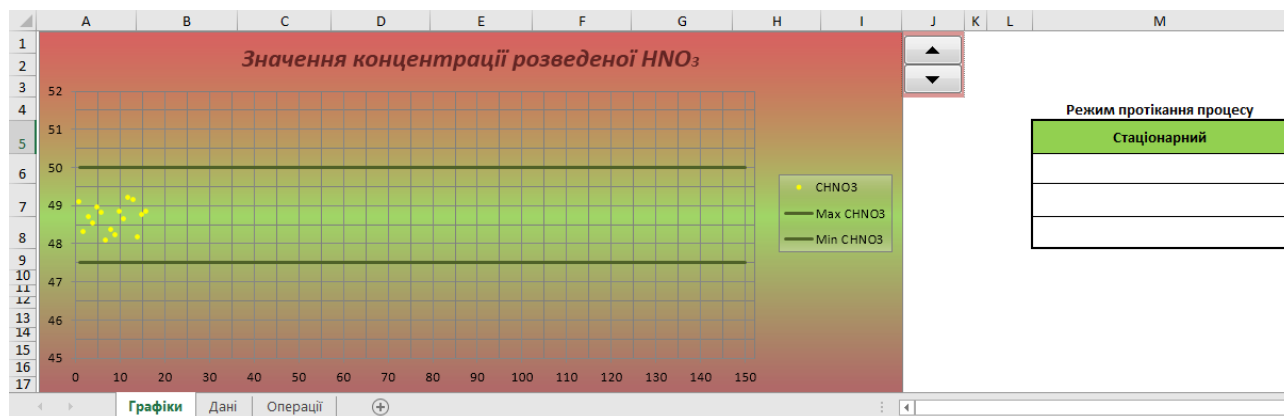


Рисунок 3.4. - Візуалізація стаціонарного режиму роботи процесу

Інформування про виникнення нестационарного режиму роботи наведено на рис. 3.5.

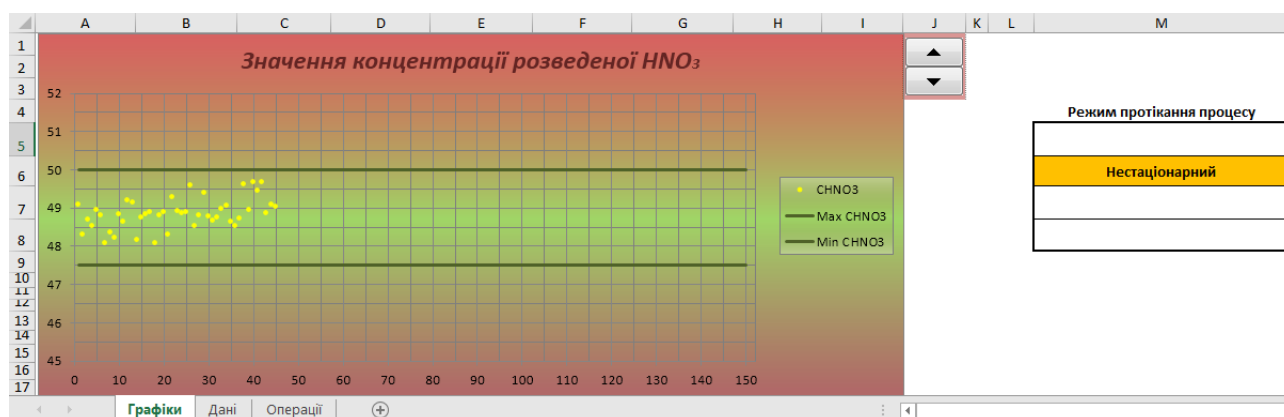


Рисунок 3.5. - Візуалізація нестационарного режиму роботи процесу

Вигляд сповіщення про аварійний режим роботи зображено на рис. 3.6.

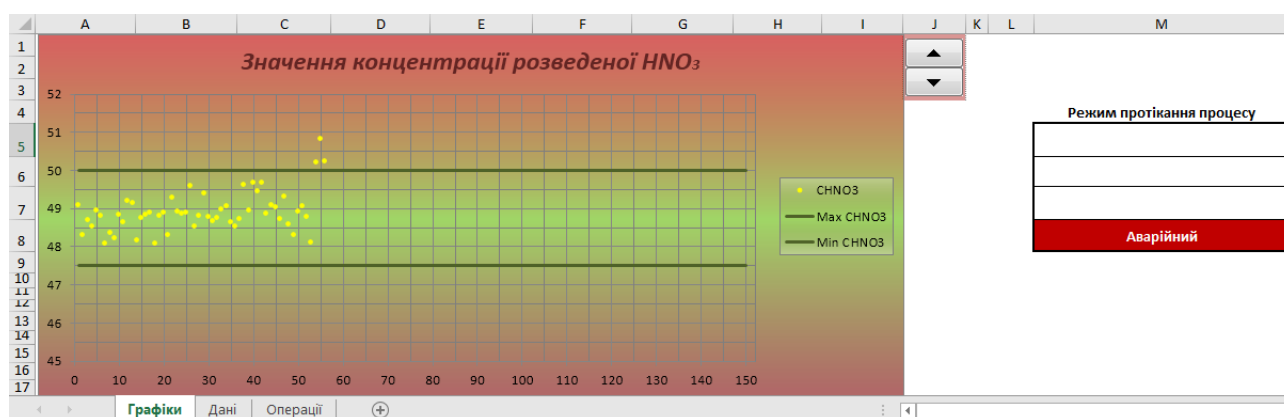


Рисунок 3.6. - Візуалізація аварійного режиму роботи процесу

Сповіщення про передаварійний режим функціонування наведено на рис. 3.7.

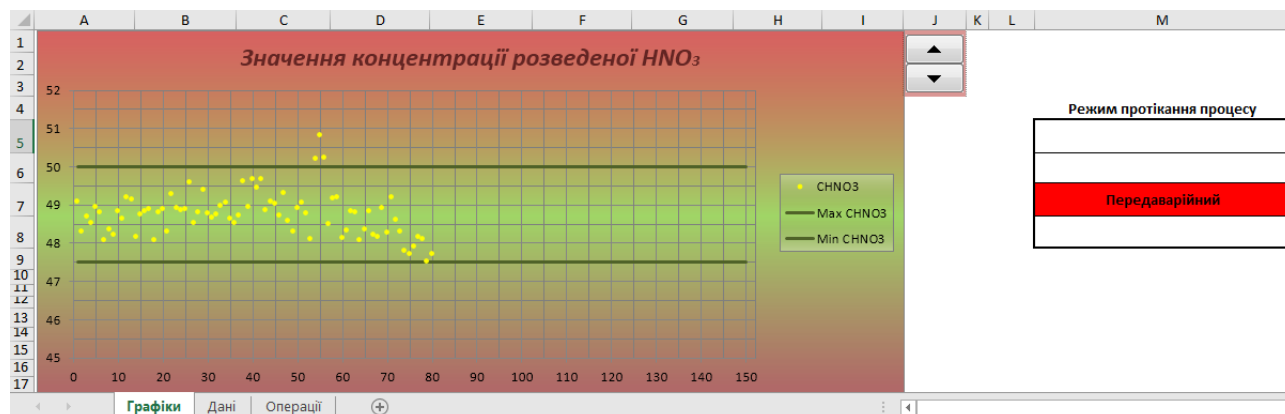


Рисунок 3.7. - Візуалізація аварійного режиму роботи процесу

### Висновки до розділу 3

У розділі 3 було розроблено прикладну програму для робочого місця оператора-технолога, щоб візуалізувати поведінку процесів. Використання у програмі статистичних операцій робить її ефективною для визначення нестационарних тенденцій, виявлення передаварійних та аварійних ситуацій інформуючи оператора про той чи інших режим протікання процесу.

## 4. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

### 4.1. Ідея та опис стартапу

Назва проекту: «*ProcessAdapt*» (ПроцесАдапт). Логотип проекту зображений на рисунку 4.1.



Рисунок 4.1. - Логотип стартап-проекту

Ідея полягає у створенні прикладної програми, яка буде організовувати реєстрування значення технологічних параметрів, розрахунок статистичних показників для кожного з обраних контрольованих параметрів системи, покрокове нанесення точок на графік з допустимими межами значень, перевірка стаціонарності процесів та інформування про поточних режим роботи виробництва. Послуги з адаптації програми під конкретне виробництво.

Програма буде виконувати такі функції:

1. Реєстрування значень контрольованих технологічних параметрів;
2. Побудову графіків з поточним виведення точок зі значеннями контрольованих параметрів;
3. Визначення режимів технологічного процесу (нормальний, передаварійний, аварійний, стаціонарний, нестаціонарний);
  - Моніторинг відхилення вихідних значень параметрів;
  - Пошук причини спричинення відхилення;
  - Аналіз причин аварійної ситуації;
  - Рекомендації щодо усунення аварії.

Проект розробляється на базі даних та параметрів абсорбційної башти у виробництві розведеної азотної кислоти, з якої ми отримуємо готовий продукт (розведену азотну кислоту  $\text{HNO}_3$ ).

Процес виробництва складається з великої кількості апаратів та послідовного підключення потоків сировини у ході виробництва.

Ситуаційна модель (СМ), яка використовується у стартапі, буде включати детальний опис усіх можливих ситуацій які можуть трапитися з об'єктом та на виробництві в цілому.

Побудова графіків:

- Значення вхідних параметрів від номеру досліду (3 графіки, оскільки 3 контрольованих параметри);
- Значення вихідного параметру від номеру досліду
- Статична характеристика процесу.

Команда: Попович Наталія та Попович Ольга. Обов'язки однакові.

Конкуренти: Ринок досліджується. Практично у кожній компанії, яка займається виробництвом у сфері хімічної та харчової промисловості, розроблена математична програма розрахунку необхідних параметрів відповідно до власних вимог. Такі програми дуже рідко можуть бути універсальними та зручними у використанні для інших процесів виробництва.

Ми пропонуємо програму з максимально універсальними функціями та властивостями.

Ціль програми: широке використання програми у різних галузях промисловості, зокрема хімічній та харчовій. Можливість застосування стартапу у інших виробництвах.

Гроші: 400 \$ в місяць (приблизний термін на написання програми 6 місяців).

Де шукати гроші: інвестиції від підприємств та приватних підприємців, які зацікавлені в використанні цієї програми.

Конкурентні переваги: розробниками програми є саме ті спеціалісти, які започаткували цю технологію. Ми розробники і виконавці.



## **4.2. Аудит динаміки та основних тенденцій ринку виробництва розведеної азотної кислоти**

Для даного виробництва досліджена динаміка ринку за 7 років (2011 - 2017 рр.). Дані та графіки ринку побудовані у Excel-файлі та наведені на рисунках 4.1. та 4.2.

На сьогодні життєвий цикл досліджуваного ринку знаходиться на етапі *зростання*, оскільки порівняно з 2015 роком, обсяги сумарного виробництва значно зросли. Якщо окремо розглядати динаміку розвитку кожного підприємства, то також спостерігається приріст виготовленої продукції, у ПАТ «Азот» - суттєвий приріст, у ПАТ «Рівнеазот» - незначний.

Орієнтуючись на статистику, прогнози позитивні, оскільки існує велика імовірність продовження зросту та переходу на етап стабільності і насичення. Зріст пояснюється збільшеною потребою у імпорті азотної кислоти, а також у актуальності її використання в Україні.

З огляду на динаміку ринку, Стартап «*ProcessAdapt*» полегшить роботу та діяльність різних підприємств за допомогою своїх функцій. Прискорить поліпшення динаміки ринку та зекономить час виробникам. Можуть виникнути складнощі з виходом програми на ринок через затрачені коштів та часу на адаптацію програми під виробництва, проте в перспективі всі витрачені кошти повернуться у вигляді зменшених витрат та збитків у підприємстві.

Інтернет-джерела даних про обсяги виробництва розведеної азотної кислоти:

<http://www.ostchem.com/uk/investors>

<http://www.azot.cherkassy.net/content/news7/inform/year.php>

<http://www.azot.rv.ua/aktsioneram/zvitnist/richnyi-zvit>

[http://www.azot.lg.ua/index.php?page=regular\\_richn\\_info&lng=ru](http://www.azot.lg.ua/index.php?page=regular_richn_info&lng=ru)

<http://www.opz.odessa.net/shareholder/?id=16&c=7&pc=16>

	A	B	C	D	E	F	G	H
1		<b>Обсяги виробництва азотної кислоти, тис.тонн</b>						
2	Компанія\Рік	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
3	ПАТ "Азот", м.Сіверодонецьк	536	545	321	50	61	241	276
4	ПАТ "Одеський припортовий завод", м.Південне	374	389	169	78	97	196	202
5	ПАТ "Азот", м.Черкаси		787	843	801	593	816	798
6	ПАТ "Рівнеазот", м.Рівне	527	549	531	458	388	403	411
7	ПАТ "Дніпроазот", м.Кам"янське	347	306	215	97	103	284	290
8	Загальний обсяг	1784	2576	2079	1484	1242	1940	1977

Рисунок 4.2. - Таблиця з даними про обсяги виробництва розведеної азотної кислоти підприємствами України

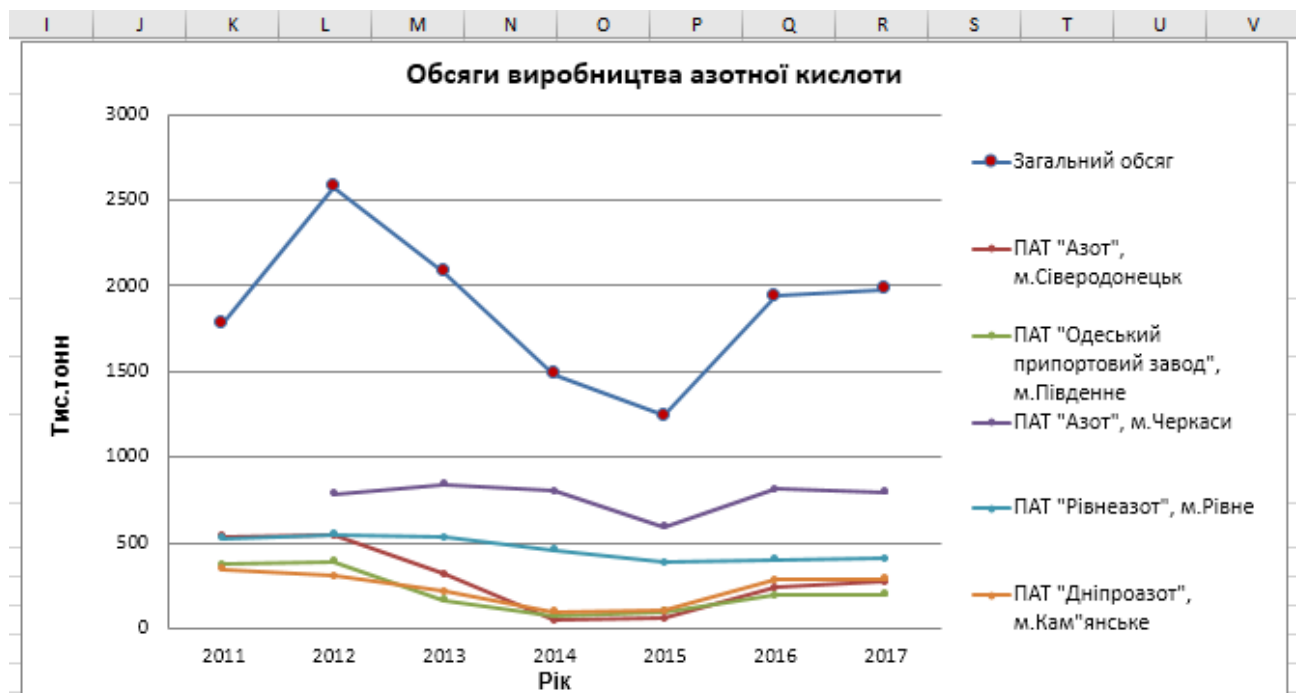


Рисунок 4.3. - Графіки зміни обсягів виробництва розведеної азотної кислоти підприємствами України за 7 років

### **4.3. Аналіз маркетингового середовища**

Результатом цього розділу є аналіз маркетингового середовища приватного підприємства ПП «АДАПТПРОЦЕС ПЛЮС».

Товаром, якому присвячено аналіз маркетингового середовища виступає прикладна програма адаптації виробничих процесів для робочого місця оператора-технолога.

#### **4.3.1. Аналіз внутрішнього середовища**

Загальна інформація про компанію:

Історія розвитку підприємства:

Компанія заснована двома сестрами, Ольгою та Наталією Попович у 2017 році за підтримки дипломного керівника Ярощук Людмили Дем'янівни.

Прикладна програма, адаптацією якої займаються засновники спрямована на підтримання стаціонарності режимів на виробництві, попередження утворенню браку, аварій, для перевірки якості продукції на її відповідність згідно ДСТУ.

Товарний портфель (асортимент товарів та послуг):

Розробка та адаптування прикладної програми до різних виробництв які надає замовник. Підтримання функціонування програми та її дієздатності. Відповідність сучасним стандартам.

Географічне розташування підприємства:

03056, м. Київ, вул.. Борщагівська, 146, квартира 10-03

Корпоративні стандарти:

Постійна комунікація з клієнтом та професіоналізм розробників дають якісно створений продукт.

Ресурси і обмеження:

Основою є інтелектуальні та інформаційні ресурси компанії. Інформаційні ресурси базуються на дослідженнях та аналізі досліджуваного виробництва, використання методів та технологій розроблених у інформаційній сфері.

Надається короткий опис товару, якому присвячено аналіз маркетингового середовища. Розглядаються три рівні товару та його особливості.

аналіз виробництва – виокремлення основних контрольованих параметрів – адаптування програми до виробництва

Ринкова історія товару:

На даний момент ринкової історії товару не існує так як він на етапі розробки.

Визначення етапу життєвого циклу товару.

Відносно продукції виробництва розведеної азотної кислоти, товар знаходиться на стадії зрілості. Щодо виробництва глинозему, товар знаходить також на етапі зрілості.

Узагальнено розглядається динаміка розвитку галузі:

Основні оператори ринку:

На ринку України ПП «АДАПТПРОЦЕС ПЛЮС» є поки єдиною компанією з розробки адаптаційних програм у сфері хімічної та харчової промисловості.

Економічні та соціальні тенденції ринку

Забезпечення робочих місць близько 100 людям з професійними навиками та стажем, забезпечення ринку України необхідним товаром яка допоможе уникнути браку та матеріальних втрат підприємства.

Характеристики ринку:

Щодо ПАТ «Азот» м.Черкаси. Розмір підприємства: 0,29 км<sup>2</sup>

Затребуваний асортимент продукції, стійка позиція на ринку серед конкурентів.

Споживачі на території України та ближньому зарубіжжі (експорт). За останні кілька років суттєвих спадів виробництва не спостерігалось, однак у 2015 році позиція товариства незначно погіршилась.

Завдяки попередньому опитуванню керівництва та співробітників компанії визначаються події, що обумовлюють актуальність проведення аналізу маркетингового середовища підприємства.

Викладена вище загальна інформація систематизується у вигляді переліку факторів внутрішнього маркетингового середовища фірми за такими групами:

Організаційно-правові:

форма власності – Приватне підприємство

форма організації – компанія

організаційна структура – лінійна

система менеджменту – стратегічний менеджмент



стиль керівництва – демократичний

Ресурси:

фінансові: в основному це інвестиції фірм, які бажають адаптувати прикладну програму під своє виробництво;

виробничі та складські потужності: на даний момент це кімнати та кабінети учасників компанії. В подальшому планується оренда спеціального приміщення для команди розробників.

технології: застосовуються як традиційні так і сучасні технології створення програми. Використання нових методів адаптування для скорочення часу очікування обчислень.

Інформаційні: індивідуальні та колективні знання спеціалістів (ті, що не підлягають документації), наукові розробки та дослідження, аналізи виробництва, статистичні дані, проекти, аналітичні та практичні моделі (документовані).

Трудові: команда розробників та спеціалістів у цій сфері.

Інтелектуальні: знання, навички та виробничий досвід нашої команди та помічників і такі нематеріальні активи, як патенти, бази даних, програмне забезпечення для інших виробництв.

Правові: джерела з мережі інтернет та інші інформаційні ресурси щодо особливостей технології виробництв.

Таблиця 4.1. - Аналіз внутрішнього маркетингового середовища

Фактори внутрішні	Вплив фактору		Проблеми та можливості
	Можливості	Загрози	
Стратегічне планування та її проблематика	Ускладнене прогнозування, визначення цілей, завдань роботи компанії і методів їх досягнення		Проведення комплексних маркетингових досліджень, розробка стратегії діяльності компанії з урахуванням кризових ситуацій
Низька обізнаність існування компанії	Відсутність рекламованості компанії серед клієнтів	Недовірливе ставлення потенційних клієнтів	Використання різноманітних способів просування, створення презентацій, реклама, участь у тендерах
Низький рівень фінансування	Фізичний зношення обладнання (ноутбуків та аксесуарів до них)		Внесення змін до фінансового плану компанії; пошук нових інвесторів
Інтелектуальний потенціал компанії		Кваліфіковані, лояльні і добре мотивовані працівники як інструмент для досягнення конкурентних переваг	Оптимізація управління трудовими ресурсами; розробка методів, спрямованих на підвищення продуктивності праці
Інновації	Пошук нових клієнтів з сучасним мисленням	Співпраця з клієнтами, орієнтованими на розвиток товару	Пошук клієнтів-новаторів

Таблиця 4.2. - Загальний список потрібної інформації.

№ п/п	Необхідна інформація
1	Залучення нових інвестицій
2	Рекламування компанії, інші способи просування на ринку
3	Сценарій дій компанії у кризових ситуаціях
4	Комплексні маркетингові дослідження
5	Мотивація співробітників для покращення продуктивності праці
6	Пошук клієнтів з сучасним мисленням
7	Способи та методи приваблювання нових клієнтів

#### 4.3.2. Аналіз зовнішнього середовища

Таблиця 4.3. - Таблиця факторів політико-правового середовища підприємства.

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні методи
	Можливості	Загрози	
Просування українських товарів до Європи та ближнього зарубіжжя	Розширення ринку збуту товару	Витіснення вітчизняного товару закордонним	Підведення товару компанії до вимог та стандартів Європейського середовища
Урегулювання діяльності компанії законодавчими актами і законами	Підвищення якості товарів і послуг відповідно до сертифікатів та ліцензій.		Дотримання захисту прав споживачів, забезпечення безпеки праці, часу роботи, мінімальної заробітної плати
Наявність аспектів хімічної та харчової промисловості в стратегії сталого розвитку України	Отримання державних інвестицій для впровадження технології		Пошуки каналів зв'язку з потрібними державними установами для отримання інвестицій

Таблиця 4.4. – Сумарна таблиця факторів економічного середовища.

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні методи
	Можливості	Загрози	
Економічний потенціал України		Недостатність клієнтів-підприємств, що можуть дозволити собі оновлення систем	Вивід товару на закордонні ринки
Світова економічна криза		Недостатнє фінансування, відсутність інвесторів	Пошук шляхів здешевлення товару без компенсування цього за рахунок його якості
Падіння рівню промислового виробництва в країні		Мала кількість місць впровадження технології	Пошук закордонних клієнтів

Таблиця 4.5. - Таблиця факторів науково-технічного середовища підприємства.

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні методи
	Можливості	Загрози	
Поява нових інноваційних технологій керування та виробництва		Поява нових конкурентів	Постійний розвиток та вдосконалення товару, орієнтація на постійних клієнтів
Інтенсивний розвиток ринку	Для того, щоб бути конкурентоспроможним, підприємству необхідно відповідати все більш зростаючим вимогам до технології та обладнання.		Спостереження та впровадження технологій, що йдуть в ногу з часом

Таблиця 4.6. - Таблиця факторів демографічного середовища підприємства.

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні методи
	Можливо сті	Загрози	
Зміна населення України не впливає на якість та розповсюдженість запропонованого товару на ринку			



Таблиця 4.7. - Таблиця факторів соціально-культурного середовища підприємства.

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні методи
	Можливості	Загрози	
Бажання працівників зменшити обсяг виконання роботи	Перевага над конкурентами за рівнем автоматизації, зниженням кількості людської праці		Вдосконалення елементів системи для зниження рівня людської праці
Особливості відношення українських клієнтів		Вибір перевірених технологій перевірених виробників замість інноваційної	Демонстрація на практиці переважання якості товару за рахунок його інноваційності

Таблиця 4.8. - Таблиця факторів природного середовища підприємства.

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні методи
	Можливості	Загрози	
Використання енергозберігаючих та екологічно безпечних технологій	Перевага над конкурентним товаром за рахунок енергоефективності, екологічної безпеки		Пошук шляхів доведення та представлення переваг товару компанії над конкурентами

### 4.3.3 Аналіз факторів мікроркетингового середовища.

Таблиця 4.9. - Сумарна таблиця впливу споживачів на розвиток компанії.

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні методи
	Можливості	Загрози	
Бажання клієнтів мати якісний продукт за короткий час і низьку вартість	Подолання конкурентів за рахунок унікального дизайну	Втрата клієнтів через невідповідність зовнішнього вигляду товару	Постійна робота над дизайном та ергономічністю товару
Вплив статусу бренду на клієнтів		Втрата потенційно важливих клієнтів	Робота над іміджем компанії, доведення слів ділом, підтвердження якості товару
Здатність покупців торгуватися		Втрата потенційних клієнтів через велику вартість товару та послуг	Співпраця з клієнтами на взаємовигідних умовах поступок

Таблиця 4.10. - Сумарна таблиця впливу конкурентів на розвиток компанії.

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні методи
	Можливості	Загрози	
Наявність нових конкурентів		Рівень інноваційності нових конкурентів перевищить рівень інноваційності компанії	Моніторинг ринку, спроби технологічно випереджувати конкурентів
Наявність взаємозамінних товарів		Поява інноваційного промислового обладнання, що не потребує впровадження пропонованих систем	Робота над адаптивністю систем для впровадження на різні типи, види та рівні виробництва
Конкуренція між існуючими компаніями		Витіснення конкурентами компанії з ринку	Порівняння, аналіз товару конкурентів, запозичення гарних тенденцій та запобігання помилок конкурентів

Таблиця 4.11. - Таблиця впливу постачальників на підприємство.

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні методи
	Можливості	Загрози	
Зменшення фірм постачальників в період кризи		Втрата постійних постачальників	Наявність зв'язків з різними постачальниками, що можуть бути взаємозамінні

Таблиця 4.12. - Таблиця впливу аудиторій з якими є контакт

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні методи
	Можливості	Загрози	
ЗМІ	Просування власного бренду	Просування конкурентів, публікація неправдивої інформації	Просування власного бренду за рахунок взаємодії з різними видами ЗМІ
Конференції, реклама, виставки	Здобування підприємством «власного імені» у професійно-технічній спільноті		Співпраця з цими спільнотами, відвідування тематичних заходів, використання будь-якої можливості заявити про себе
Існуюча база контактів компанії	Підвищення продуктивності розробок за рахунок ефективної командної діяльності	Зниження продуктивності розробок за рахунок поганих відносин у колективі	Підвищення командного духу, проведення тимбіндінгів, корпоративів, пошук спільних інтересів

#### 4.3.4. Формулювання управлінської проблеми

Таблиця 4.13. - SWOT- аналіз.

Сильні сторони	Слабкі сторони
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Високий інтелектуальний потенціал компанії</li> <li>- Інноваційність технології</li> <li>- Високий рівень енергозбереження та ресурсозбереження загалом</li> <li>- Адаптованість продукту під задане виробництво</li> <li>- Можливість виходу на закордонний ринок</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Недостатня обізнаність про компанію на ринку</li> <li>- Низький рівень фінансування</li> <li>- Конкуренція на ринку</li> <li>- Зменшення кількості можливих постачальників в умовах кризи</li> </ul>
Можливості	Загрози
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Перевага над конкурентним товаром за рахунок малокомпонентності, енергоефективності, екологічної безпеки.</li> <li>- Підвищення продуктивності розробок за рахунок ефективної командної діяльності.</li> <li>- Подолання конкуренції за рахунок унікального дизайну систем</li> <li>- Плідна співпраця з постачальниками на взаємовигідних умовах поступок</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Поява інноваційного технічного обладнання.</li> <li>- Витіснення конкурентами компанії з ринку</li> <li>- Недостатнє фінансування, відсутність інвесторів</li> <li>- Недостатність клієнтів-підприємств, що можуть дозволити собі оновлення систем</li> <li>- Витіснення вітчизняного товару закордонним</li> </ul>

Управлінською проблемою на даному етапі є велика затрата часу на просування компанії та рекламування товару на ринку України. Виникає мета заохочування більшої кількості інвесторів та клієнтів для поширення впізнаваності продукту.

Розроблені альтернативні шляхи вирішення управлінської проблеми/ реалізації управлінської можливості наведені у таблиці.

Таблиця 4.14. – Опис слабких та сильних сторін альтернативних методів.

Альтернативи	Слабкі сторони	Сильні сторони
1. Пошуки каналів зв'язку з потрібними державними установами для отримання інвестицій	Складність пошуку цих каналів	Розширення клієнтської бази
2. Демонстрація на практиці переважання якості товару за рахунок	Стереотипність та страх клієнтів перед новинками	Зміна ставлення до інновацій, розширення меж

його інноваційності		потенціальних клієнтів
3. Підтримання співпраці з постійними клієнтами	Недостатня кількість уваги новим клієнтам	Підтримання стабільної бази постійних клієнтів
4. Праця над основною задачею - адаптивністю програми для широкого спектру виробництв.	Значні робочі ресурси використані на адаптацію прикладної програми.	Значне розширення ринку та можливостей на ньому.

Найоптимальнішим шляхом вирішення управлінської проблеми є – поєднання різних напрямів та шляхів розв’язання поставлених проблем; рекламування назви компанії; робота над якістю, енергоефективністю та ергономічністю товару.

#### 4.4. Конкурентний аналіз компанії

У цьому розділі проведено конкурентний аналіз компанії ПП «АДАПТПРОЦЕС ПЛЮС»

Таблиця 4.15. - Аналіз конкуренції на ринку за ступенями.

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність компанії
1.Вказати тип конкуренції: монополія/ олігополія/ монополістична/чиста	Чиста конкуренція. Немає компаній які повністю завоювали ринок у цій області.	Конкуренство часто з потенційними клієнтами коли ми пропонуємо використати кращу та функціональнішу технологію.
2.За рівнем конкурентної боротьби: локальний/національний..	Локальна боротьба. В основному кожна фірма розробляє маленьку програму під своє виробництво.	Підвищення функціональності програми.
3.За галузевою ознакою: міжгалузева/ внутрішньогалузева	Внутрішньогалузева ознака. Програма використовується в конкретному виробництві	Охоплення більшої кількості заданості всередині підприємства.
4. Конкуренція за видами товарів: товарно-родова/ товарно-видова/ між бажаннями	Товарно-видова конкуренція. Ідентичність структури програми виключається	Пропонується прикладна програма що відрізняється від вже створених.
5.За характером конкурентних переваг: цінова/ нецінова	Конкурентна перевага і цінова і нецінова. Якість продукту та її цінова категорія.	Розроблена програма дещо дорожча за програми конкурентів, проте охоплює більшу функціональність.
6.За інтенсивністю: марочна/ немарочна	Немарочна. Спеціальної марки програма немає.	Адаптація під інші виробництва призводить іноді до зміни функцій програми.

Таблиця 4.16. - Аналіз конкуренції за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Відсутні	Підприємств а-клієнти	Відсутні	Виробництва хімічної та харчової промисловості	Програми вузької функціональності
Висновки	Відсутні	Потрібна достатня аргументація якості товару.	Постачальники ми виступають розробники.	Презентація потенційним клієнтам нового товару	Використання якісного товару замість малофункціональних

Таблиця 4.17. - Факторів конкурентоспроможності та їх обґрунтування.

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Наявність нових конкурентів	Моніторинг ринку, спроби технологічно випереджувати конкурентів
2	Наявність взаємозамінних товарів	Робота над адаптивністю систем для впровадження на різні типи, види та рівні виробництва
3	Конкуренція між існуючими компаніями	Порівняння, аналіз товару конкурентів, запозичення гарних тенденцій та запобігання помилок конкурентів

Таблиця 4.18. - Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін стартапу «АдаптПроцес»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з АдаптПроцес.						
			- 3	- 2	- 1	0	1	2	3
1	Наявність нових конкурентів	7			x				
2	Наявність взаємозамінних товарів	18						x	
3	Конкуренція між існуючими компаніями	11				x			

## 4.5. Ринкові стратегії стартап-проекту

Таблиця 4.19. – Таблиця вибору цільових груп з потенційними споживачами

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах сегменту	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входження у сегмент
1.	Підприємства хімічної та харчової промисловості	57%	90%	Конкуренція невисока, оскільки не так багато великих виробництв на території України	Спілкування напряму з представниками цільової аудиторії, загострення уваги не перевагах нашої програми.
Які цільові групи обрано: Для розвитку і «гарного» старту підприємства спочатку сконцентрувати увагу на цільовій групі невеликих підприємств у яких власне програмне забезпечення погане. Далі переходити до захоплення аудиторії великих заводів та пропонувати багатофункціональну програму.					

Таблиця 4.20. - Базова стратегія розвитку підприємства

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1.	Доступна ціна для початку	Масовий маркетинг	Ідеальне для клієнта співвідношення ціна/якість	Стратегія лідерства по витратах
2.	Підписання довгострокових контрактів	Диференційований маркетинг	Супровід систем, їх технічне обслуговування, навчання персоналу	Стратегія диференціації

Таблиця 4.21. - Базова стратегія конкурентної поведінки підприємства

№ п/п	Чи є «першопрохідцем»?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1.	Ні, проте удосконалена версія попередніх	Треба починати з осучаснених клієнтів, тих, хто готовий експериментувати.	Загальним для нашого товару і конкурентного є тільки основна ідея, а структура, компоненти, їх співвідношення є унікальними	Стратегія заняття конкурентної ніші

Таблиця 4.22. - Визначення стратегії з визначенням позиції.

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкуренто-спроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1.	Аргументована ціна. Супроводження товару Необхідна якість	Стратегія диференціації	Продукція вищої якості за конкурентну Можливість економити на ресурсах Програми лояльності за тривалі контракти Супровід товару	Висока якість та надійність. Тривалі контракти. Програми лояльності.

## 4.6. Комерційна пропозиція

У цьому розділі складено комерційну пропозицію від ПП «АДАПТПРОЦЕС ПЛЮС».

### КОМЕРЦІЙНА ПРОПОЗИЦІЯ

від «22» травня 2018 року



*Шановні партнери!*

*Пропонуємо вашій увазі наш проект – прикладна програма по ідентифікації, моніторингу та прогнозування для виробництва хімічної та харчової промисловості на прикладі виробництва розведеної азотної кислоти*

**Хто ми такі?**

ПП «АДАПТПРОЦЕС ПЛЮС» – команда інженерів-розробників та програмістів. Компанія заснована двома сестрами, Ольгою та Наталією Попович у 2017 році за підтримки дипломного керівника Ярошук Людмили Дем'янівни.

Прикладна програма, адаптацією якої займаються засновники спрямована на підтримання стаціонарності режимів на виробництві, попередження утворенню браку, аварій, для перевірки якості продукції на її відповідність згідно ДСТУ.

Метою діяльності нашої команди є створення дійсно якісного продукту, що стане невід'ємною частиною виробництва і збільшить його якість, енерго- та ресурсоефективність.



Ми пропонуємо системи ідентифікації прогнозування та моніторингу за процесами на виробництві розведеної азотної кислоти. Також ми пропонуємо послуги по впровадженню, обслуговуванню та супроводу цих систем. В подальшому, наша команда готова запропонувати послуги по навчанню персоналу компаній-клієнтів, що будуть працювати з нашою прикладною програмою.

Окрім цього, в подальшому прикладну програму можна буде удосконалювати новими можливостями і застосовувати її на нових апаратах та процесах.

### **Чому саме ми?**

#### **Основні конкурентні переваги нашої прикладної програми:**

- Малокомпонентність
- Ресурсоефективність
- Екологічна безпека
- Помірна вартість
- Унікальний дизайн
- Можливість адаптувати системи під суміжні ринки
- Можливість впровадження систем закордоном

#### **Основними ж перевагами співпраці з нами є**

- Високий інтелектуальний потенціал компанії
- Згуртованість команди фанатів своєї справи
- Дипломатичність умов співпраці
- Спрямованість команди на постійне вдосконалення проекту

### **Скільки потрібно грошей?**

Для створення системи спостереження з функцією пошуку джерела аварії нам необхідні наступні компоненти:

1. Персональний ноутбук – близько 20 тис. грн.

Організаційні витрати, на документацію та випробування – приблизно 5 тис. грн.

Витрати на надзвичайні випадки – близько 3 тис. грн.

Оскільки на початку запуску проекту його реалізація планується за рахунок активів проекту, то витрати на заробітну плату є опційними. Врахуємо витрати на ЗП – 20 тис грн. в місяць. Проект має окупити себе за 3-4 місяці.

### **Коли повернуться перші гроші?**

Ми розраховуємо, що перші прибутки від наших систем сформуються вже після першого місяця їх застосування. Повністю ж проект окупить себе за 4 місяці.

**Детальніше з інформацією** про нашу команду ви можете дізнатись зателефонувавши за номером (097) 111-22-33 Попович Наталія.

*З повагою,*

*Попович Наталія Вікторівна, співзасновник компанії ПП «ПРОЦЕСАДАПТ ПЛЮС»*

## **Висновки до розділу 4**

У розділі 4 магістерської дисертації проведено детальний аналіз ринку споживачів та товарів, аналіз маркетингового середовища компанії ПП «ПроцесАдапт ПЛЮС» та аналіз зовнішнього середовища, враховуючи конкурентів що діють на ринку.

На основі проведених аналізів для компанії був розроблений стратегічний план розвитку та сформульований управлінський напрямок роботи.

Окрім цього було проведено конкурентний аналіз на основі якого виділено сильні та слабкі сторони компанії та розроблено коменційну пропозицію для потенційних клієнтів.

## ВИСНОВКИ

Магістерська дисертація за темою «Ситуаційний аналіз в системі автоматизації виробництва розведеної азотної кислоти» містить результати досліджень описаних у чотирьох розділах.

При реалізації ситуаційного підходу в управлінні виробництвом кожний розроблений алгоритм дій забезпечує оптимальну роботу саме тих технологічних процесів для яких він був створений.

За результатами проведених досліджень було досягнути головну мету магістерської дисертації, а саме було розроблено алгоритми керування, заснованих на методах ситуаційного аналізу, задля підвищення ефективності системи автоматичного керування та дотримання високих показників якості продукції.

Перший та другий розділ магістерської дисертації містить аналіз технологічної системи виробництва розведеної азотної кислоти, на основі якої виокремлено та розподілено несприятливі ситуації підприємства на 4 режими функціонування виробничих процесів: нестационарний, передаварійний, аварійний. Для аварійних ситуацій розроблені графи аварійних ситуацій діагностувального типу та розрахована імовірність виникнення кожної події; створено алгоритми для визначення несприятливого режиму роботи процесів; створено нечітке керування процесом абсорбції нітрозних газів.

Розділ 3 наповнений описом розробленої прикладної програм у середовищі *Microsoft Excel* для робочого місця оператора-технолога, щоб візуалізувати поведінку технологічних процесів.

Завершуючим етапом магістерської дисертації є створення стартап-проекту на основі розробленої програми у розділі 3. Для компанії ПП «ПроцесАдапт ПЛЮС» проведено детальний аналіз ринку, внутрішнього та зовнішнього маркетингового середовища. В результаті був розроблений стратегічний план розвитку та сформульований управлінський напрямок роботи компанії, виділено сильні та слабкі сторони компанії та розроблено коменційну пропозицію для потенційних клієнтів.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. **Атрощенко В. И.**, Технология азотной кислоты [Текст] / В. И. Атрощенко, С. И. Каргин, - М.: Химия, 1970. - 496с.
2. **Куандыков А. А.**, Задачи ситуационного управления сложными объектами и их особенности [Текст] / А. А. Куандыков // Системы обработки информации. - 2008. - Выпуск № 2. - С. 6 - 11. –  
Режим доступа: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/soi\\_2008\\_2\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/soi_2008_2_4).
3. Справочник азотчика. Том 1 [Текст] / под ред. Е. Я. Мельников, - М.: Химия, 1986. – 492 с.
4. Справочник азотчика. Том 2 [Текст] / под ред. Е. Я. Мельников, - М.: Химия, 1987. – 444 с.
5. **Иоффе И. Л.**, Проектирование процессов и аппаратов химической промышленности [Текст] / И. Л. Иоффе, - Л.: Химия, 1991. - 352с.
6. **Олевский В. М.**, Производство азотной кислоты в агрегатах большой единой мощности [Текст] / В. М. Олевский, - М.: Химия, 1985. - 193с.
7. **Чернышев А.**, Производство азотной кислоты под повышенным давлением [Текст] / А. Чернышев, А. Буслаев, Л. Тарасова // Материалы научно практической конференции «Производство азотной кислоты» - М.: Химия и бизнес, 2002. - 67 с.
8. **Лукінюк М. В.**, Технологічні вимірювання та прилади: Навч. посіб. для курс. проектування. [Текст] / М. В. Лукінюк– К.: «ПОЛІПАРНАС», 2010. – 257 с.: іл. ISBN 000–000–000–0.
9. **Поспелов Д. А.** Ситуационное управление [Текст] / Д. А. Поспелов, –М.: Наука, 1989. - 357 с.
10. **Кулинич А. А.**, Ситуационный, когнитивный и семиотический подходы к принятию решений в организациях [Текст] / А. А. Кулинич // <http://dx.doi.org/10.21686/1818-4243-2016-6-9-17>, - М.: Открытое образование Т. 20. - № 6, 2016.

11. **Кодин, В. Н.**, Как работать над управленческим решением. Системный подход: учебное пособие [Текст] / В. Н. Кодин, С. В. Литягина, - М.: КНОРУС, 2010. – 190 с., ISBN 978-5-406-00713-6

12. **Клыков Ю.И.**, Семиотические основы ситуационного управления [Текст] / Ю. И. Клыков, - М.: МИФИ, 1974. - 220 с.

13. **Кравчук А. Ф.**, Алгоритм ситуационного управления процессом кристаллизации сахара в вакуум-аппарате периодического действия с механическим циркулятором [Текст] / А. Ф. Кравчук, А. П. Ладанюк, Ю. В. Прокопенко // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси та системи. - 2008. - № 1. - С. 105-110. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/aaeks\\_2008\\_1\\_18](http://nbuv.gov.ua/UJRN/aaeks_2008_1_18)

14. **Ладанюк, А. П.**, Ресурсоощадне керування біотехнологічними комплексами на основі сценарно-когнітивних моделей [Текст] / А. П. Ладанюк, В. Д. Кишенько // Матеріали XVII междунар. конф. з автом. управл., вересень 2010 р. - Харків: ХНУР, 2010. – С. 246-248.

15. Гончаренко Б.М., Розроблення автоматизованої системи керування технологічними процесами виробництва хліба з використанням сценарного підходу [Текст] / Б. М. Гончаренко, В. Д. Кишенько, О. П. Лобок, Є. В. Кронг, Л. Г. Віхрова // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. - 2016. - Вип. 46. - С. 132-139. –

Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zmntz\\_2016\\_46\\_21](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zmntz_2016_46_21)

16. **Черноусова Е. С.**, Мета модель информационной системы для ситуационного анализа региональных проблем [Текст] / Е. С. Черноусова // Журнал «Современные технологии. Системный анализ. Моделирование», - Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2008. – 78 с.

17. **Леонов В. В.**, Алгоритм прийняття рішень на стратегічному рівні управління при створенні та розвитку складних організаційно-технічних систем / В. В. Леонов, Р. В. Бойко, І. М. Сівоха, О. А. Корочкін // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних сил. - 2013. - Вип. 4. - С. 117-122. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZKhUPS\\_2013\\_4\\_27](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZKhUPS_2013_4_27).

18. **Терехин Д. Э.**, Системы ситуационного управления на основе технологий Semantic Web / Д. Э. Терехин, А. Ф. Тузовский // Всероссийская конференция с международным участием "Знания - Онтологии - Теории" (ЗОНТ-2015), Новосибирск, 6-8 октября 2015г., С. 151-155

19. **Ющенко А.С.**, Ситуационное управление и робототехника / А.С. Ющенко // Теоретические и прикладные вопросы современных информационных технологий – 2007. – С. 164 – 165.

20. **Попович Н. В.**, Визначення аварійних ситуацій на виробництві розведеної азотної кислоти [Текст] / Н. В. Попович, Л. Д. Ярошук // Матеріали IV Міжнародної науково-технічної Internet-конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами», 22 листопада 2017 р. [Електронний ресурс] – К: НУХТ, 2017 р. – 297 с. – Режим доступу: <http://nuft.edu.ua/page/view/konferentsii>, вільний. – Загол. з екрану – Мова укр.

21. **Попович Н. В.**, Проблеми нестационарності у виробництві розведеної азотної кислоти [Текст] / Н. В. Попович, Л. Д. Ярошук // Матеріали Четвертої Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів і студентів (АКІТ-2017); Київ, 19–20 квітня 2017 р. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – 204 с. : іл. – Бібліогр.: в кінці тез. – 60 пр. – ISBN 978-966-622-826-3.

22. **Попович Н. В.**, Програмування задач аналізу ситуацій для роботи оператора на виробництві розведеної азотної кислоти [Текст] / Н. В. Попович, Л. Д. Ярошук / Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології - 2018: Матеріали П'ятої міжнародної науково - практичної конференції молодих учених, аспірантів і студентів (АКІТ-2018); Київ 11-12 квітня 2018. - К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. - С. 114-115.

## ДОДАТКИ

Додаток А. Дерево джерел нестаціонарності у виробництві розведеної  $HNO_3$

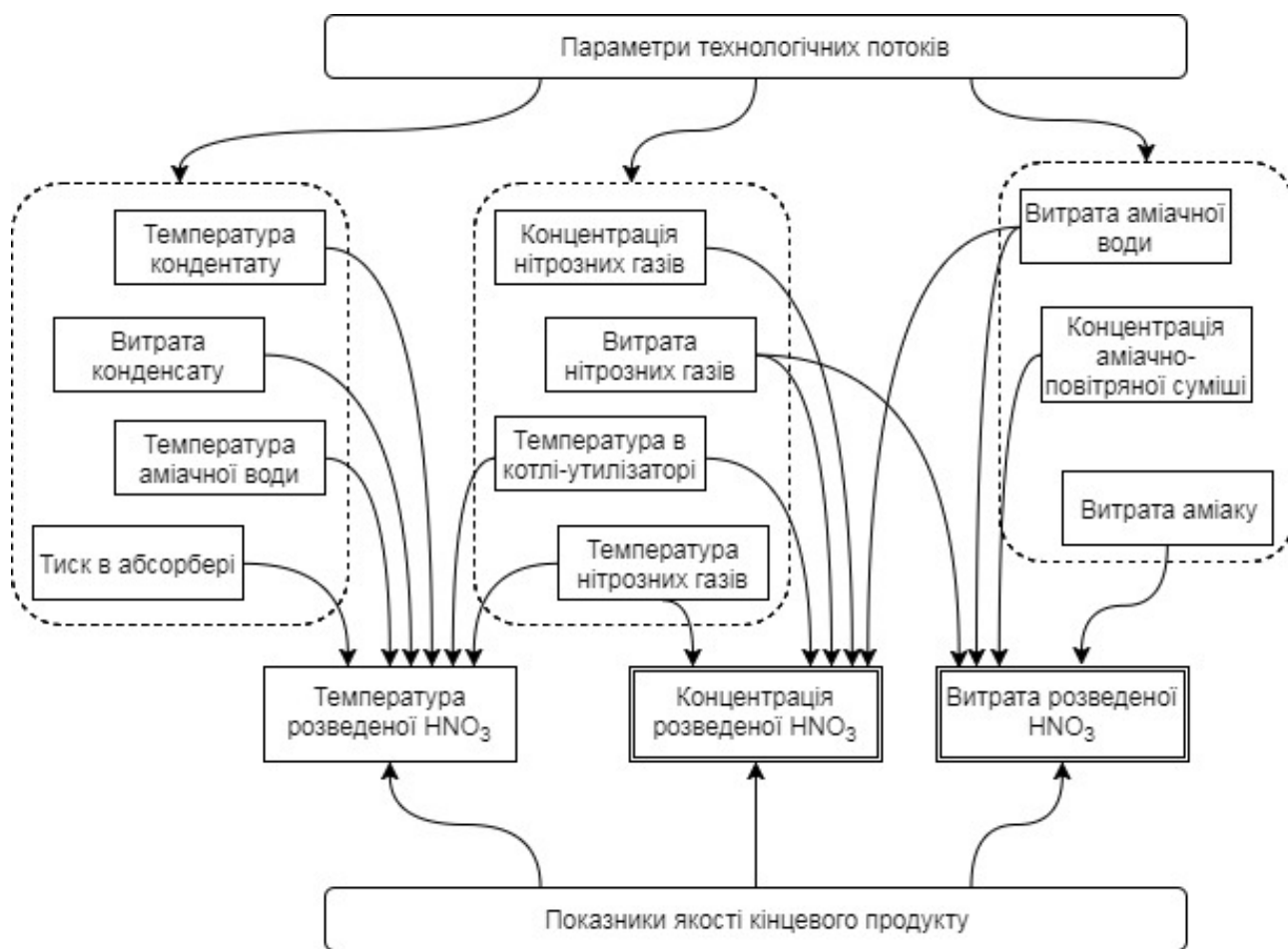


Рисунок А.1. - Схема зв'язків між технологічними показниками зміна яких може спричинити нестаціонарність



## Додаток Б. Дерево взаємозалежності технологічних параметрів

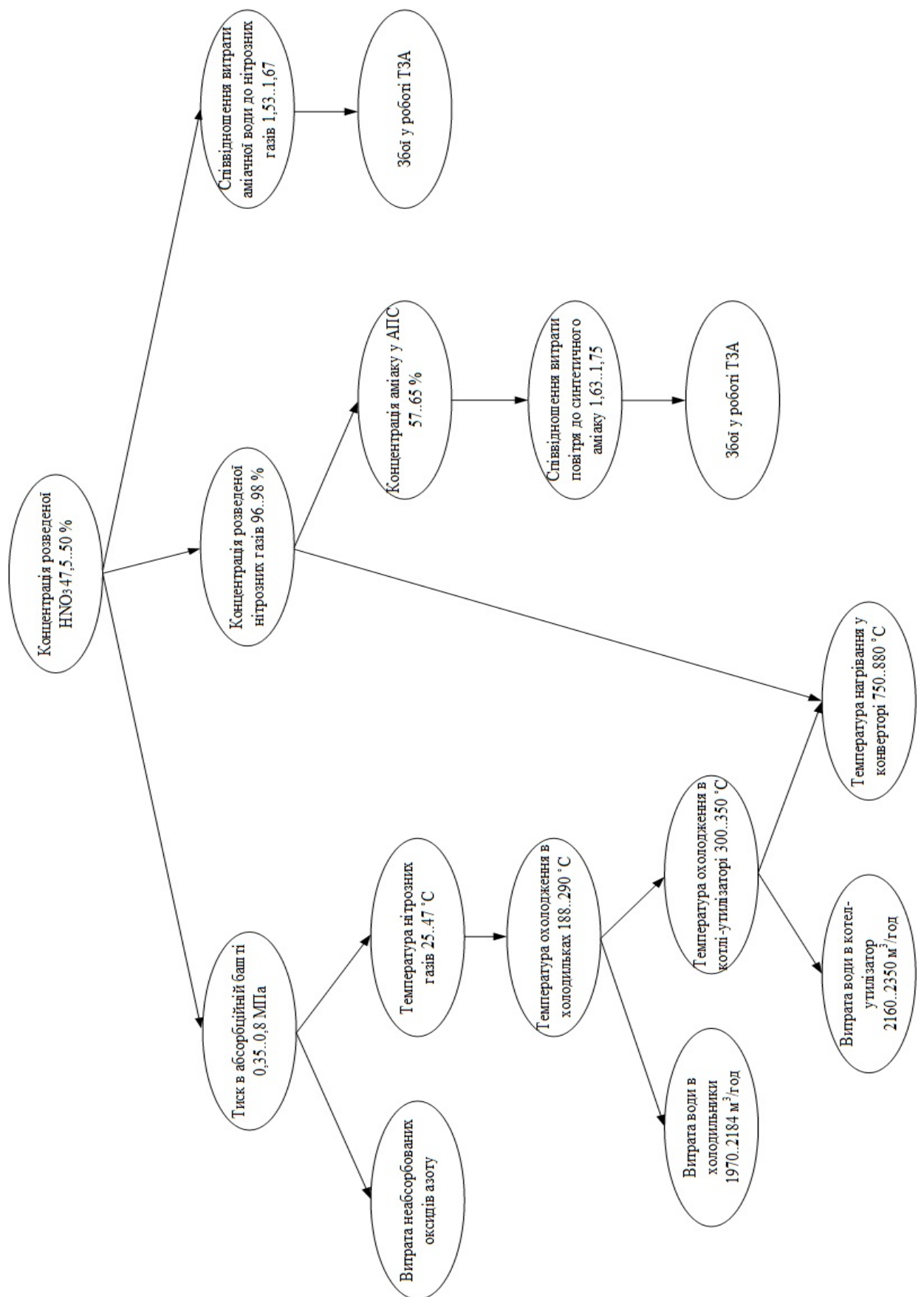


Рисунок Б.1. - Дерево залежності зміни показників параметрів виробництва

## Додаток В. Древа аварійності для виробництва розведеної азотної кислоти

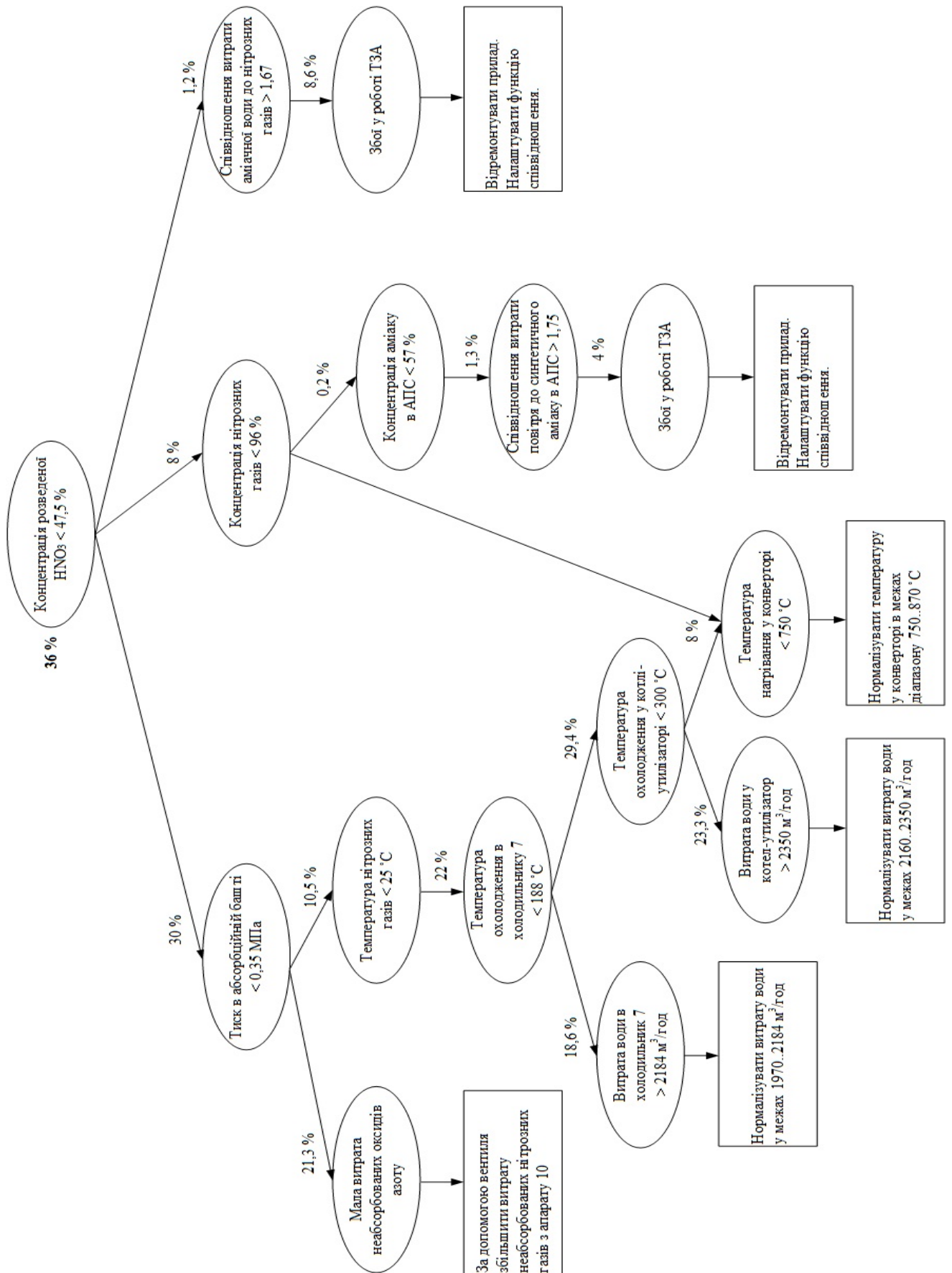


Рисунок В.1. - Древо аварійності для ситуації браку продукції де концентрація  $\text{HNO}_3 < 47,5 \%$

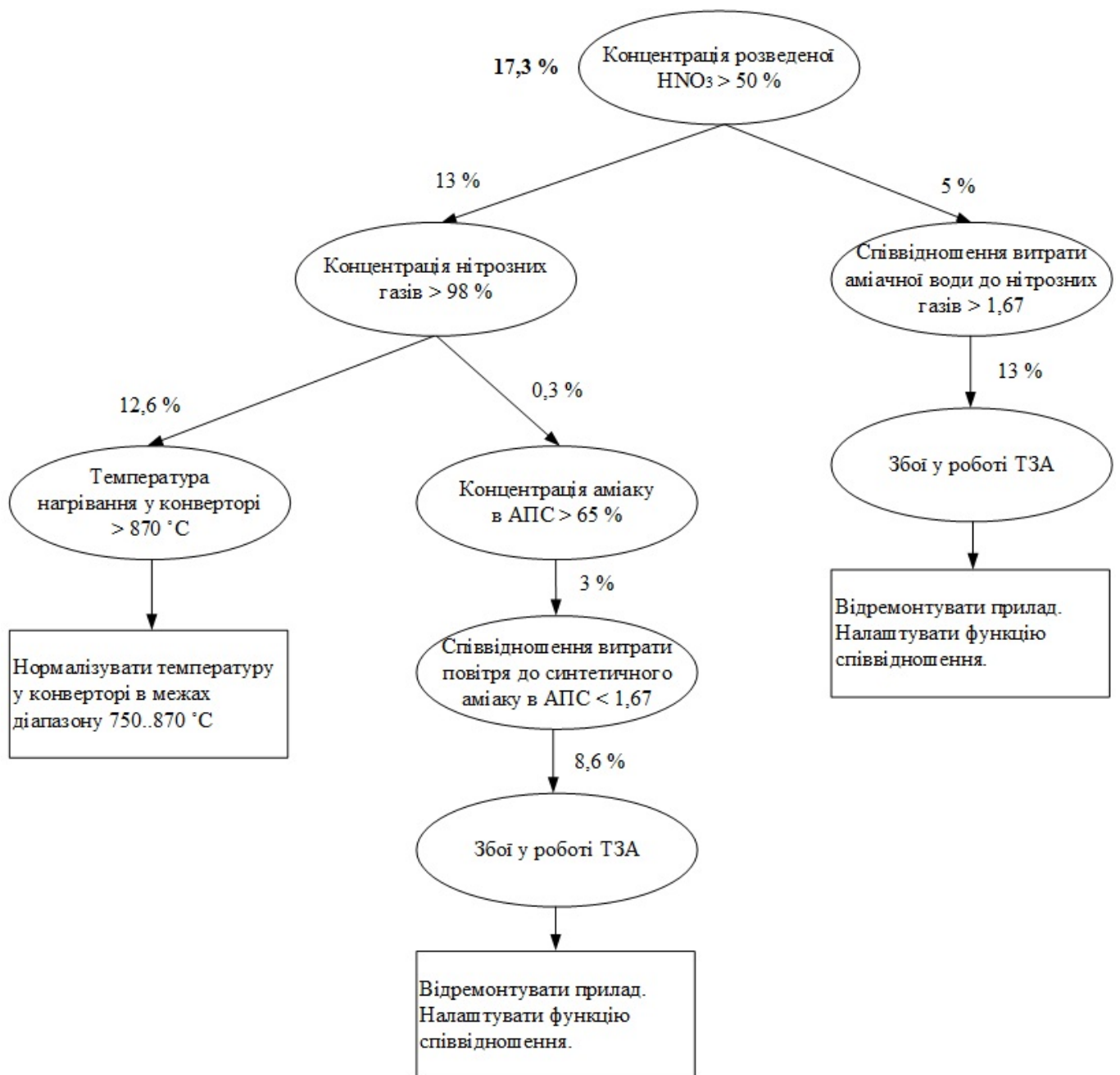


Рисунок В.2. - Дерево аварійності для ситуації браку продукції де концентрація  $\text{HNO}_3 > 50\%$

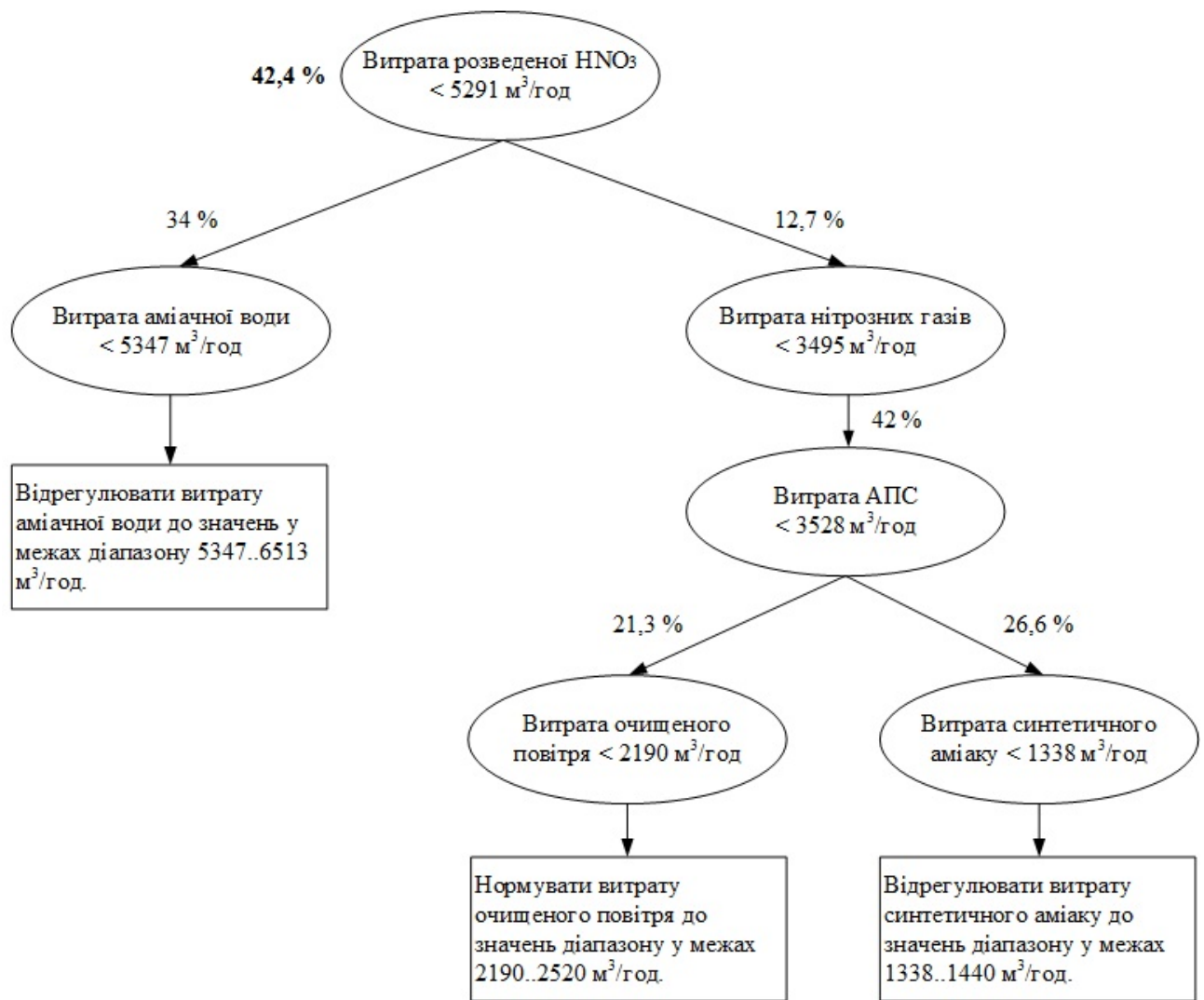


Рисунок В.3. - Дерево аварійності для ситуації низької продуктивності виробництва